



TITLE:

路面のすべり抵抗に関する実験的研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

市原, 薫

CITATION:

市原, 薫. 路面のすべり抵抗に関する実験的研究. 京都大学, 1967, 工学博士

ISSUE DATE:

1967-11-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r1109>

RIGHT:

路面のすべり抵抗に関する 実験的研究

昭和42年4月

市 原 薫

序

自動車交通と道路の接触は路面であり、路面のすべり抵抗を介して自動車は道路上を走行し、停止する。われわれが自動車の走行を論ずる場合、常に問題になるのは路面のすべり抵抗であり、すべり抵抗係数より道路の幾何構造は決定される。

またわれわれが自動車事故の解析を行なう場合、路面のすべり抵抗は最も重要な問題の一つである。自動車交通の事故のうちでブレーキを踏まなかったものを除くと、すべての事故にすべり抵抗が関係しているのである。すべり抵抗が大きい場合、事故の発生は防止できないまでも、事故の程度を小さくすることはできるのである。

すべり抵抗の問題は古く馬車交通の時代より存在し、最近高速自動車交通になってますます重要になってきたのである。この問題については今までにも多くの人々によって、色々の面から調査、研究が進められてきた。しかしタイヤと路面の間のすべり抵抗には、非常に多くの要素が、複雑に組合わされて影響するので、これを確実に把握することはなかなか困難である。

本研究においては、これらの問題をなるべく定量的に把握し、実際の道路走行の解析に役立たせると同時に、道路の舗装および維持のすべり対策としての基準を決定しようとするものである。まず第2章においては、タイヤゴムと路面の間のすべりに関する一般論をまとめた。第3章においては、自動車の制動時の運動とすべり抵抗の関係を明らかにし、特に制動停止距離の計算に当って、今まで使用されていた制動中すべり抵抗係数は一定であるとした計算式に代って、速度と抵抗係数を相関させた計算式を提案した。第4

章では各種道路のすべり摩擦係数の実測値を解析し、すべり摩擦係数に影響をおよぼす要素との相関値を見出した。特に速度および温度とすべり摩擦係数の重相関式を導き出した。そして最後に実際の道路上で使用するべきすべり摩擦係数の基準値を見出した。第5章ではすべり抵抗の測定法についてのべ第6章では道路のすべり対策についてのべた。第7章においては、すべりの問題の中で最も重要な凍結路面のすべり状況およびその対策についてのべた。

以上本研究もまだすべりに関して完成したものではないが、実測値を中心にして、定量的解析を一步進めたものである。

本研究のとりまとめに当っては、京都大学米谷栄二教授および佐々木綱教授の御指導を受けた。ここに深く感謝の意を表する次第である。また本研究のための実測および解析に当っては土木研究所伊吹山道路部長の御指導および道路研究室各位の御協力をうけたことに対し、感謝の意を表する次第である。

昭和42年4月

市 原 薫

路面のすべり抵抗に関する実験的研究

目 次

序

オ 1 章	序 論	1
§ 1.1	..... 本研究の目的	1
§ 1.2	..... 本研究の立場	2
§ 1.3	..... 本研究の内容	5
オ 2 章	路面とタイヤの関係	9
§ 2.1	..... 概 説	9
§ 2.2	..... タイヤのすべり現象	9
§ 2.3	..... タイヤの性質	20
§ 2.4	..... 路面の性質	24
§ 2.5	..... 結 語	26
オ 3 章	制動時における車両運動とすべり抵抗	29
§ 3.1	..... 概 説	29
§ 3.2	..... 直線走行とすべり	29
§ 3.3	..... 曲線走行とすべり	46
§ 3.4	..... 路側のすべり抵抗と走行の安全性	49
§ 3.5	..... 結 語	51
オ 4 章	路面のすべり抵抗	53
§ 4.1	..... 概 説	53
§ 4.2	..... 主要な路面のすべり摩擦係数	53

§ 4. 3	すべり摩擦に係る諸要因	60
§ 4. 4	乾燥と湿潤によるすべり摩擦係数の変化	81
§ 4. 5	走行速度および温度とすべり摩擦係数	88
§ 4. 6	横すべり角と横すべり力	98
§ 4. 7	路面の粗度とすべり摩擦係数	102
§ 4. 8	舗装の種類とすべり摩擦係数	103
§ 4. 9	季節変化とすべり摩擦係数	107
§ 4. 10	路面の凍結とすべり摩擦係数	109
§ 4. 11	すべり摩擦係数の基準値	110
§ 4. 12	結 語	118
才 5 章	路面のすべり抵抗測定法	123
§ 5. 1	概 説	123
§ 5. 2	各種のすべり抵抗測定装置	124
§ 5. 3	本研究に用いたすべり抵抗測定装置	133
§ 5. 4	結 語	135
才 6 章	路面のすべり対策	147
§ 6. 1	概 説	147
§ 6. 2	道路のすべりと事故	149
§ 6. 3	一般的なすべり対策	150
§ 6. 4	コンクリート舗装のすべり対策	156
§ 6. 5	アスファルト舗装のすべり対策	158
§ 6. 6	結 語	161

才 7 章	凍結路面のすべり対策	163
§ 7 1	概 説	163
§ 7 2	路面の凍結対策	163
§ 7 3	薬剤による路面凍結対策	166
§ 7 4	摩擦材の散布工法	179
§ 7 5	電熱による凍結，積雪対策	183
§ 7 6	その他の工法	204
§ 7 7	結 語	208
才 8 章	結 論	213

第 1 章 序 論

§ 1.1 本研究の目的

道路と自動車走行の関係を^考えた場合、その間に働く力は路面と自動車タイヤの間のすべり抵抗力である。この自動車走行とすべり抵抗力との関係は3つの状態に分けて考えることができる。第1には自動車が走行を開始し、加速し、そして走行抵抗に打勝って速度を維持するためにはエンジンからでる動力を車輪に伝え、タイヤ表面と路面との間のすべり抵抗の反力によって駆動力とすることである。特に走行開始時には大きな駆動力を必要とするので、路面とタイヤの間に大きいすべり抵抗を必要とする。路面が凍結したり積雪があった場合などにはすべり抵抗が特に減少するので、勾配部等走行抵抗の大きい場合には駆動できないこともある。このように路面とタイヤの間のすべり抵抗はまず自動車の走行に必要なものである。

第2に自動車は走行中横方向の外力を受けることが多い。曲線部を走行する場合の遠心力は最も典型的なものであり、その外路面の横断勾配による重力の分力としての横方向力、風による横方向力等がある。またハンドル操作による、タイヤ方向と車両方向および進行方向とのなす角による横方向力がある。このように自動車が方向性を維持するためには各種の横方向力に抵抗するタイヤと路面の間の横すべり抵抗が必要である。

第3には制動停止に必要なすべり抵抗である。走行の目的を終って制動停止する場合の外に、走行中交差点の信号等外部の要求により停止したり、また障害物が発生したり、自己の不測の事態等により危険を感じて急停止を必要とする場合がある。これらの制動停止の良否は直接危険とつながり、事故の原因となるので、特に重要な問題である。近年自動車走行の量と速度の両面での増大にともなって、自動車事故はますます増大しているが、これらの事故の大部分は何等かの形で、直接または間接に路面とタイヤの間のすべりの問題を含んでいる。米英その他各国の交通事故の分析結果を見ると、路面がぬれている時の事故の約25%、雪氷路面上の事故の約50%が路面のす

べりやすさを直接の原因として発生したといわれている。

以上のように、路面のすべり抵抗の問題は自動車の走行にとって始動、走行、操向および制動停止のあらゆる場合に重要であり、路面のすべり抵抗の研究はこれらの安全走行を確保することを最終の目的とするものである。

タイヤと路面のすべり抵抗係数については、これまでにも各種の立場から多くの人々が調査研究している。わが国においても、昭和12年に土木試験所の島田八郎技師が、路面の縦および横すべり摩擦抵抗におよぼす路面種別とその性状との影響について発表しているのを始め、以後各種の調査研究が行なわれている。しかしこれらの研究の多くは、特定な状況における定性的な傾向を表わすものであって、各種の気象状況を通じて、統一された基本となるようなものが乏しい。

本研究はわが国における、自動車の安全走行を確保するために必要な路面のすべり抵抗係数の基準を確立することを目的とするものである。まず路面の種類別すべり抵抗係数の実測を行い、その状況を把握する。そしてこれらのすべり抵抗係数に大きい影響を及ぼす因子と、その影響の程度を定量的に解析して、各種要因とすべり抵抗係数との相関を明らかにする。一方すべり抵抗係数と自動車走行の関係について、制動時における車両運動とすべり抵抗係数についての理論解析を行ない、安全な車両運動を確保するために必要なすべり抵抗係数の限界値を見出す。さらに実際の道路におけるすべり抵抗係数と事故発生状況の関係を明らかにする。最後にこれらを総合して、各種路面のすべり抵抗係数の標準換算法と、この標準の下での限界値を決定し、安全な車両運動を確保できるような路面对策の基準を作成する。さらに進んで、各種路面においてすべり抵抗係数を確保するための対策を確立し、また最もすべり抵抗係数が小さくなる凍結、積雪路面の実状とその対策工法についても明らかにしようとするものである。

かくして、安全走行に必要な路面のすべり抵抗がえられるものである。

§ 1.2 本研究の立場

路面とタイヤの間のすべり抵抗は各種の要因によって影響され非常に複雑である。まず第一に考えなければならないのはタイヤの問題である。タイヤ

の構造およびその性質であり、さらにタイヤを構成する各材料の性質が問題になる。すなわちタイヤの剛性、表面形状、トレッド模様、圧力分布、圧力および荷重の変化による応力分布の変化状況、トレッドゴムの性質等である。トレッドゴムについては粘着力およびヒステリシス特性が最も重要であるが、これらの性質が外力（大小、方向、すべり率等）、温度、水分、夾雑物および接する路面の状況等によってどのように変化するかを明らかにしなければならない。

オ 2 に考えなければならないのは路面の問題である。現在舗装に実用されている、または今後使用される可能性のある各種の路面について検討する必要がある。すなわち舗装体の配合、粒度、表面の粗度、結合材の種類と性質、骨材の種類と性質、さらにこれらの舗装が施工された状況、その後の交通量と荷重強度、経年変化、気象作用の影響および測定時の表面温度、水分、夾雑物の状況等を検討しなければならない。

オ 3 にはタイヤと路面の相関運動状況である。接地面の大小、荷重強度およびその分布、相対すべり速度および変化率の状況等を検討しなければならない。

これらおのおのの要因の影響を検討した後、さらに各種要因の組合せ状況における影響を検討して始めて路面とタイヤの間のすべり抵抗は明らかになるのである。これらの各種要因については、いずれの一つをとり上げてても非常に重要な問題であり、複雑な現象を呈するものである。そして今までにも多くの人々によって、そのおのおのの定性的、定量的なものについての研究がなされてきた。しかしあまりにも要因が多く、現象が複雑なために、これらを総合した形のものがなかなかえられていない。例えば、わが国では現在各種の舗装面について、すべり抵抗係数が大きいとか、小さいとか論じられているが、絶対的な基準の数値はいまだに決定されていない。しかし現実の道路上では日々すべりを原因とした種々の問題が発生している。

そこで本研究に当たっては、道路交通工学の立場にたつてわが国の現実の道路と自動車走行の条件下における、すべり抵抗の基準と対策を決定することを目的とし、実際にわが国で最も多く使用されている標準的なタイヤを使用し、実際に交通に供されている舗装面について、通常起りうる気象状況の

範囲で、しかも走行すべり抵抗が問題となる走行状態で実測した値を中心にして解析したものである。例えばタイヤと路面の間の縦すべり抵抗係数は相対速度の変化とともに複雑な変化を示し $0.01 \sim 1.5 \text{ Km/h}$ 程度の速度のときに最大値に達することが明らかにされているが 1.5 Km/h は交通上あまり問題になる速度ではないので、この速度付近での検討は行なわず、 20 Km/h 以上 100 Km/h 以下での検討を主として行なった。なお本論文において特に強くとりあげたのは

- (1) 路面のすべり抵抗係数と温度および速度の関係
- (2) 路面の粗度とすべり抵抗係数の関係
- (3) 路面の凍結とすべり抵抗係数の関係
- (4) 凍結路面対策
- (5) 路面のすべり抵抗係数の基準の作成

である。(1)の路面すべり抵抗係数と温度の関係については一部の人によって早くより研究されていた¹⁾が、大部分の実測では測定したときの温度条件を入れていないものが多い。しかし本研究の結果によるとわが国で測定した場合、夏季の高温時に測定した値と、同じ路面を冬季に測定した場合では $20 \sim 50\%$ にもおよぶ差がでていたのであって、今までわが国で路面のすべり抵抗係数の測定値が定量的に全然つかみ所がないように考えられていたのは、温度の要素を入れていなかったためと思われる。また路面のすべり抵抗と速度の関係も重要である。本論文で取扱う速度範囲 $20 \text{ Km/h} \sim 100 \text{ Km/h}$ においては、一般に乾燥状態のすべり抵抗係数は速度の影響は少ないが、湿潤状態では速度の増大とともに、すべり抵抗係数は相当減少する。これらの関係についても、定性的な調査結果は発表されているが²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ 定量的な相関基準がない。これらの点について解明したい。(2)の路面の粗度とすべり抵抗係数については、ややもすると粗い路面がすべり抵抗係数が高い路面であるかのように錯覚し、ごく最近まですべり止め舗装と称してオープングレイドの表面の粗な、空隙率の大きいアスファルトコンクリートを施工している例が多い。これは誤りであってその実態を各測定値を通じさらに理論的な考察を併せて説明しようとするものである。(3)の路面の凍結とすべり抵抗係数の関係は、最近新しく生じた問題であって、冬季の安全交通を確保するために

は非常に大切な問題である。しかも路面に凍結が生じた場合のすべりの問題は、舗装面の性質とはほとんど無関係に、氷雪の問題として考える必要がある。(4)の凍結路面对策もこの面から考えなければならない問題である。今後全国的に幹線道路が整備されるに当たり、冬季交通の安全を確保するための基準を作成したいと考えるものである。(5)ではこれらの解析の結果を総合して今後路面のすべり抵抗係数として採用すべき基準数値の提案を行なうものである。

これらの実測値の解析に当たっては、多くの人々の研究成果である個々の要因とすべり抵抗の関係を参考にしたが、実用の範囲内ではあまり大きい影響をあたえない要因については測定条件の中に総合して包含させて、特別にとりあげなかった。

§ 1.3 本研究の内容

本研究は路面のすべり抵抗係数を、交通工学の立場にたって実用的に統一し、重要な問題点を取りあげ、さらに対策の基準を樹立しようとするものである。特に前節でのべたようにすべり抵抗係数と温度および速度の関係、路面粗度とすべり抵抗係数の関係、および凍結路面の問題に重点をおいたが、なお路面とタイヤのすべりに関する全体についてものべた。これらについて章を追って説明する。

オ2章においては路面のすべりを論ずる場合に必要な基本となるものについてのできた。まずすべり抵抗とすべり摩擦の関係についてのできた。次にすべり摩擦の定義は、走行中車輪に制動をかけた場合の抵抗を、縦すべり摩擦抵抗といい、制動がなく自由に回転しているタイヤに、横方向力を加えた場合の抵抗を横すべり摩擦抵抗ということは従来のものとほぼ同様であるが、従来ややもすると縦すべりと横すべりの境界状態付近で混乱しがちだったので、これについて具体的に定義を明らかにした。タイヤの性質および路面の性質については現在使用されているタイヤおよび舗装体を調査して、すべり摩擦と関係があると思われる性質を明らかにしておいた。

オ3章は制動時における車両運動とすべり抵抗を取りあげ、まず実際のすべり摩擦係数と道路構造基準の考え方の相関についてのできた、さらに摩擦係数

が左右で異なる場合の自動車の運動について説明し、次いで曲線部を走行しているときの横すべり摩擦と曲線部を走行中に制動した場合の縦すべり摩擦の横方向分力との関係について述べている。また路側のすべり抵抗と走行の安全性について述べ、広巾員の路肩が路外に逸脱する車の走行速度を大きく減少して衝突または転倒時の事故を小さくする効果を明らかにし、今後のより安全な道路への改善方向を示している。

才4章はすべり摩擦係数に影響をおよぼす諸要因とその影響の状況について、実測値を中心にして解析し関係を明らかにした。まず乾燥と湿潤によるすべり摩擦係数の変化は、湿潤の場合に小さく、その差は普通20%程度である。しかし良好な骨材が多く表面にでている（エメリー等）すべり止め舗装ではその差はほとんどない。逆にアスファルトモルタル、セメントペースト等で表面が覆われている舗装面はその差が大きく、湿潤状態ではすべり摩擦係数が0.1～0.2と非常に小さくなっている。また湿潤路面では走行速度の増大に応じてすべり摩擦係数が減少することも明らかであるが、乾燥路面では速度が増大してもすべり摩擦係数はあまり変化しない。路面の粗度とすべり摩擦係数についてはあまり関係がないことが明らかになった。この場合の粗度の定義が問題であるが普通肉眼で見ることのできる程度の粗度ではあまり関係がないということであって、ゴムのヒステリシスに影響するような微小な凹凸はもちろん関係があると思われる。したがって勾配部等ですべり摩擦係数を大きくするために、舗装体の強度と耐久性を犠牲にしてまで粗い舗装を作ることは間違っていることが明らかになった。これと同じ考えで、舗装の種類とすべり摩擦係数の相関は一定のものではなく、同一種類の舗装でも、すべりやすいものから、すべりにくいものまであることが明らかになった。温度とすべり摩擦係数の関係は最も大切なものの一つであって、今までの測定値の大部分が温度の要素を入れて考えなかったために、すべり摩擦係数そのものが非常に不確定なもののように考えられていた。同一路面について夏季に測定したものと冬季に測定したものとでは50%にもおよぶ差異が認められたことがある。しかし温度を係数にしてすべり摩擦係数値を換算すると非常によく合致することがわかった。この場合測定する温度は路面温度が適当であると考えられる。したがって今後路面のすべり摩擦係数につい

ては、常に温度を一定（+ 35℃）に換算して比較検討すべきである。季節の要因もすべり摩擦係数に大きい影響をあたえる。同じ温度であっても同一路面で春に測定したすべり摩擦係数は、秋に測定したものよりも大きい。これは舗装表面が、低温で剝離する状況と、高温で結合材が流動し、飽和し、被覆する状況との差によるものと考えられる。凍結した路面のすべり摩擦係数については一般の舗装面上でのすべり摩擦係数とは全然別にして考える必要がある。しかも凍結し、または積雪した路面上のすべり摩擦係数は、普通の舗装面に比べて、はるかに小さく0.1～0.3程度である。路面のすべりの問題はむしろ凍結、積雪路面に集中していると考えてもよい位である。

凍結路面に次いで特殊な路面として、砂利路面および仮設道路に使用される各種鋼板のすべり摩擦係数も明らかにした。これらのものはいずれも普通の舗装路面に比べてすべり摩擦係数が小さいので、使用に当たっては十分注意する必要がある、今後の仮設路面はできれば鋼板上に耐摩擦材を接着したものがのぞましい。以上の各要因とすべり摩擦係数との関係を明らかにした結果、今後道路の舗装面で採用すべき基準として温度（+ 35℃）および速度（60 km/h）換算した、湿潤時の縦すべり摩擦係数が0.45の舗装が、自動車走行上の要求と舗装工事の面より見て妥当な値であると考えられ、0.55以上の舗装は特にすべり止め効果が大きく良好である。また0.4より小さい舗装路面はすべりやすい路面であり、いかなることがあっても0.35以下にはならないようにしなければならないと提案した。

第5章ではすべり抵抗の測定法についてのべ、特に本研究で使用したすべり抵抗試験車について詳しくのべた。この試験車は大型バスを改造したもので、実物の測定用タイヤを装着して定速走行をしながら測定輪にだけ制動をかけて、すべり抵抗を測定することができるように作っており、縦すべり抵抗の外に、5°～35°の間の角度の横すべり抵抗も測定できる。また試験車の走行速度に対して試験タイヤの回転速度を任意に変更して、任意のすべり率の状況での縦すべり抵抗をも測定することができる。これはすべり率の大小に応じたすべり抵抗を求める外、今まで測定不可能であったタイヤチェーン、鋸付タイヤ、スノータイヤ等の駆動時のすべり抵抗をも測定することができるものである。

第6章はこれらのすべり摩擦係数を一定値以上に保つための一般的な対策をのべている。

第7章ではこれらの対策のうち、特に凍結路面对策をとりあげ各種の工法について考え方と効果、使用条件、費用等についてのべている。除雪については、本研究の対象外としてふれていない。凍結路面に対する一般的な対策は薬剤（塩化物等）の散布である。この場合薬剤散布の効果は二通りあり一つは氷点を降下して冰雪を融解することであり、他の一つは少量の塩化物を散布して雪質を変化させ、積雪表面のすべり摩擦係数を一定の大きさ（0.35）に保つことである。前者は冰雪がなくなるので摩擦係数は、舗装面の値にかえるが、多量の薬剤を必要とし、後者は効果は不十分であるが、少量の薬剤使用でよい。道路線形の比較的良好な道路には後者でもよいと考えられる。簡易な工法としては摩擦材を散布する方法も考えられる。一方路線上の特に重要な部分（分岐、合流部等）とか、道路の線形が特に悪い所等には確実な効果を期待して電熱を利用する工法がとられる。この場合の熱効率、熱伝導時間等についてのべている。また地理的条件に応じた特殊工法として散水消雪、スノーメルター等についてもふれ、最後にこれら各種工法を道路条件、気象条件、交通条件に応じて選択または組合わせて使用し走行の安全を確保すべきことをのべている。

参 考 文 献

- 1) G. M. Bartenev and Z. E. Styran, "Effects of type of rubber, temperature and degree of crossing on the friction properties of elastomers."
- 2) "Research on Road Safety." Department of Scientific Research, Road Research Laboratory. 1963.
- 3) R. A. Moyer, "Skidding characteristics of road surfaces." H. R. R. Bulletin 348. 1962.
- 4) R. A. Moyer, "Skid resistance measurements with a new torque device." H. R. R. Bulletin 348. 1962.
- 5) R. A. Moyer, "California skid tests with butyl rubber tires." H. R. R. No. 28, 1963.

第 2 章 路面とタイヤの関係

§ 2.1 概 説

路面とタイヤの間のすべりを論ずるに当たって、まずその基本となるものを明らかにしておかなければならない。本章においては諸種の研究結果を総合して、路面とタイヤの間のすべりについて論ずる場合の、一般的、基本的考え方についてのべる。

まず § 2.2 においては、すべり抵抗とすべり摩擦抵抗の関係についてのべ、タイヤのすべり摩擦係数としての縦すべり摩擦係数、横すべり摩擦係数についての定義を明らかにした。次いでタイヤのすべり摩擦について、ゴム状物質の摩擦機構の一般的な考え方を、各種の文献を中心にのべた。

つぎに § 2.3 においては、一般の自動車に使用されているタイヤの種類および性質を明らかにし、標準状態におけるタイヤとすべりの関係を明らかにした。

また § 2.4 では現在行なわれている舗装路面の性質を明らかにし、標準状態における舗装面とすべりの関係についてのべた。

§ 2.2 タイヤのすべり現象

[1] タイヤのすべり抵抗とすべり摩擦の関係

路面とタイヤの間のすべり抵抗を論ずるに当たって、まずその基本となるものを明らかにしておかなければならない。そのオ 1 はすべり抵抗とすべり摩擦抵抗の関係である。一般にタイヤが路面に接して運動している場合、車両はタイヤの接触面において、何等かの抵抗をうける。タイヤが自由に回転している場合の抵抗がコロガリ抵抗であり、タイヤがすべっている状態の抵抗がすべり抵抗である。タイヤのすべり抵抗は主としてタイヤと路面の間の、すべり摩擦抵抗であるが、その外にタイヤのトレッド模様と路面凹凸とのかみ合いによる抵抗、路面の突起物がタイヤ材を切裂くような抵抗等があり、測定条件によってはタイヤ前方に散在する物質（じんあい、水分、雪氷等）

による走行抵抗も加わることがある。しかもタイヤゴムは半コロイド状をしているため、いわゆる固体のすべり摩擦状態とは同一ではない。

しかしタイヤのすべり抵抗の大部分を構成するものはすべり摩擦抵抗であり、普通の走行速度においてはゴムを一応弾性体とみなすことができる。特にすべり抵抗を荷重と抵抗係数に分けて考える場合、この抵抗係数はすべり摩擦係数とほとんど同様の性格のものとなり、すべり摩擦係数と同様な概念で解析してゆくと便利である。

以下本論文においてはタイヤと路面の間のすべり摩擦係数は、すべり抵抗係数を意味するものとして取扱うことにする。

〔2〕 タイヤのすべり摩擦の定義

タイヤと路面のすべり摩擦係数について論じる場合の定義を以下に明らかにしておく。

(1) 縦すべり摩擦係数

タイヤが進行方向と同一方向に回転しているときに、このタイヤに制動力を加えるとタイヤの接地面に進行方向と逆方向の摩擦力が生じる。制動力が十分大きい場合はタイヤは完全にロックされ、路面に対するタイヤ表面のすべり率は100%となる。このときのすべり摩擦抵抗力とタイヤ荷重との比を縦すべり摩擦係数という。実際に定速走行しながら、試験タイヤを完全ロックして縦すべり抵抗力を測定した場合は図2-1のようになる。ここで最初のa部分はいわゆる静止摩擦に近い状態の、係数値が大きい所であるが、瞬間的であるので縦すべり摩擦抵抗には入れないことにする。また制動時間が長い場合には図2-2の如くタイヤトレッドが焼け切れて、縦すべり摩擦抵抗は順次減少する。制動をしたまま発進し、速度を次々に高め次いで停止すると図2-3のようになる。一般路面の摩擦係数を論ずる場合にこれらの要素を入れると複雑になるので、本研究では制動中の走行速度は一定とし、制動時間は抵抗力の変化の少ない1秒程度を標準



図2-1a
通常まさつ測定図

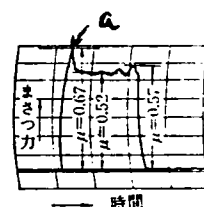


図2-1b
低速(km/h)時のまさつ係数

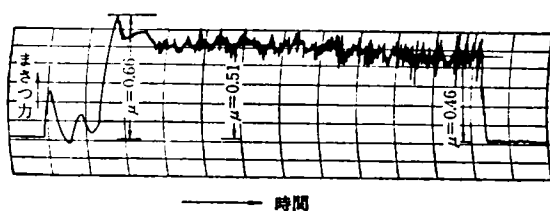


図 2-2 連続制動とまさつ力の関係

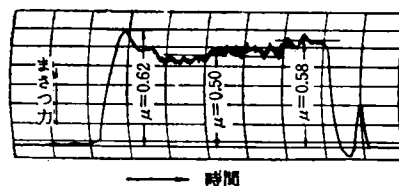


図 2-3 静止まさつとすべりまさつの関係

とし、その間の摩擦抵抗力の平均値から摩擦係数を計算することにする。制動が完全でない場合は試験車の対路面速度と測定タイヤの回転速度との差の、試験車の対路面速度に対する比をすべり率といい、すべり率何 % における縦すべり摩擦係数と呼ぶことにする。

(2) 横すべり摩擦係数

タイヤが進行方向と同一方向に、自由に回転しているときに、タイヤ面に直角方向の外力が働いて、タイヤを横に移動させようとする、タイヤの接地面において、これに抵抗する力が働く、これを横すべり摩擦といい、輪荷重に対する比を横すべり摩擦係数という。

自動車は曲線部を走行している場合後輪には遠心力による横方向力が働き、これに対抗してタイヤと路面の間に横すべり抵抗力が働くのである。この場合タイヤの回転方向と横すべりの方向とは 90° の角度をなしている。一般にタイヤの回転方向と進行方向が図 2-4 の如く θ° の角度をなして走行している場合タイヤの回転面に直角の方向に横すべり抵抗が働く。この場合の抵抗係数を横すべり角 θ° の場合の横すべり摩擦係数という。横すべり摩擦

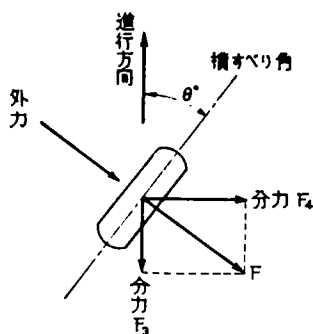


図 2-4 横すべりまさつ係数測定法

係数と横すべり角の関係は図 2-5 のようであり、横すべり角の増大とともに、摩擦係数も増大し、ある角度以上は一定値となる。この横すべり角と横すべり摩擦係数との関係は単にタイヤゴム表面と路面との性質によるものでなく、むしろタイヤ本体の剛性に関係する面が大きいと考えられる。一方横すべり摩擦係数の最大値は横すべり角

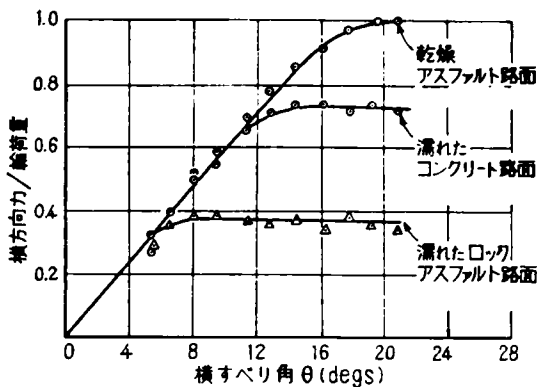


図 2-5 横すべり角と横方向力

ちがいがあるので、全く同じではない。本研究では横すべり角 90° の場合の横すべり摩擦係数は、縦すべり摩擦係数とほぼ等しい（特に温度、季節、凹凸等による影響について）と考え、あまり横すべり摩擦については実測しなかった。また横すべり角が小さいときの横すべり摩擦係数はゴムと路面の状態の外にタイヤ本体の剛性が問題になり、一方利用の面では主として操舵に関係してくるので、本研究ではあまりふれなかった。

(3) 制動時の横方向のすべり

縦すべり摩擦、横すべり摩擦の定義は前述の通りであるが、混同されやすい問題に制動時の横方向のすべりがある。タイヤ^が進行方向に対して θ° の角度をなして、自由に回転しながら進んでいる場合、タイヤ面に直角に横すべり摩擦抵抗が働くのは前述の通りである。この状態でタイヤを制動すると、タイヤには図 2-6 のごとく、進行方向に反対の抵抗が働くようになる。この抵抗は縦すべり摩擦力であり、接地パターンが異なるので、いわゆる縦すべり摩擦抵抗値とは少し異なるが、本質的には同様である。したがって、この状態でのタイヤ面に直角の方向の摩擦抵抗力は $F \sin \theta$ となる。この $F \sin \theta$ と横すべり角 θ のときの横すべり摩擦力とは全然別のものであって、一般に $F \sin \theta$ は横すべり摩擦力に比してはるかに小さい値である。実際にペンオツシロに表われた横すべり摩擦

が大きくなった所で起る。横すべり角 90° の場合を考えるとタイヤゴム面の路面に対するすべり状態は、本質的に^縦すべり摩擦の場合と同様であると考えられる。ただタイヤ本体の剛性による変形、接地パターンの形状、トレッドの方向の

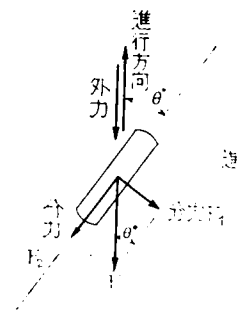


図 2-6 斜めタイヤを制動したときのすべり抵抗

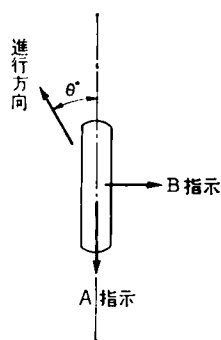


図 2-7.a

斜め進行と抵抗力測定方向

力と $F \sin \theta$ の関係を図 2-7 に示す。
 図中の B はタイヤに直角方向の抵抗力であり、 A はタイヤ方向の抵抗力である。
 オツシログラフの a 部分は制動した場合のタイヤに縦方向の抵抗力であり、 b はそのときのタイヤ面に直角方向の抵抗力である。 c は同じ角度で制動していない場合の横すべり抵抗である。 c が b に比してはるかに大きいことが分る。この現

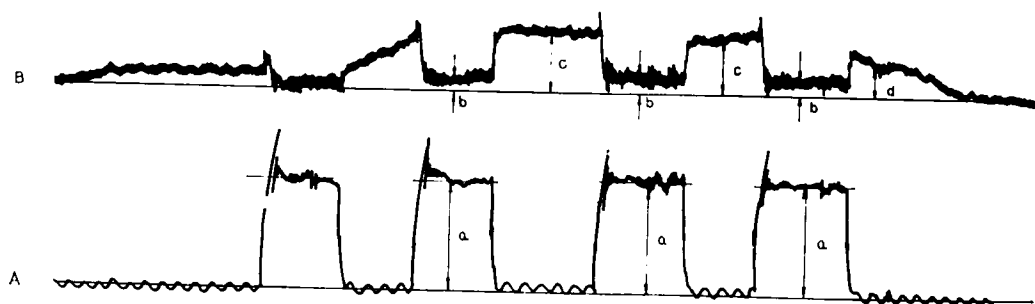


図 2-7.b 斜め進行時のすべり抵抗力

象は曲線部を自由に走行しているときには遠心力に対抗して横すべり摩擦が働いているが、制動した場合は（後輪のみに制動した場合この現象がよく了解される）横方向の抵抗は急減して、 $F \sin \theta$ だけの抵抗しか働かないことになる。これらについては第 3 章でのべる。

〔3〕 ゴムの摩擦機構

摩擦現象については古くより論じられ、二つの固体間の摩擦力は接触面積には関係なく、圧力に比例するとされている。そして摩擦抵抗力と圧力との比を摩擦係数と呼んでいる。この摩擦係数は物質に固有の数値である。また静止摩擦係数はすべり摩擦係数よりも大きいと考えられた。タイヤと路面の間のすべり摩擦についてもほぼ同様に考えられるが、詳細に見るとゴムの場合相当複雑な現象を呈するのである。これらの性質について、各種

の文献にもとずき、本研究の解析に必要な範囲についてのべる。ゴムの摩擦の原因は主として付着によって起る剪断変形とヒステリシスと凝集力であると考えられる¹⁾。これらについてさらに説明すると次のごとくになる。

(1) 付着によって起る剪断変形の摩擦

ゴムが他の物質と接している状況は図 2-8 の通りである。巨視的には A なる面積で接触して P なる圧力を受けている場合これを引くに要する力は F_A であるとする。これを顕微鏡的に見ると、実際は Aa_1 , Aa_2 , Aa_3 なる小面積の凸起部の集合体 Aa で接触していることになる。この真に接触している区域でゴムと固体表面との間に分子間力が働いて

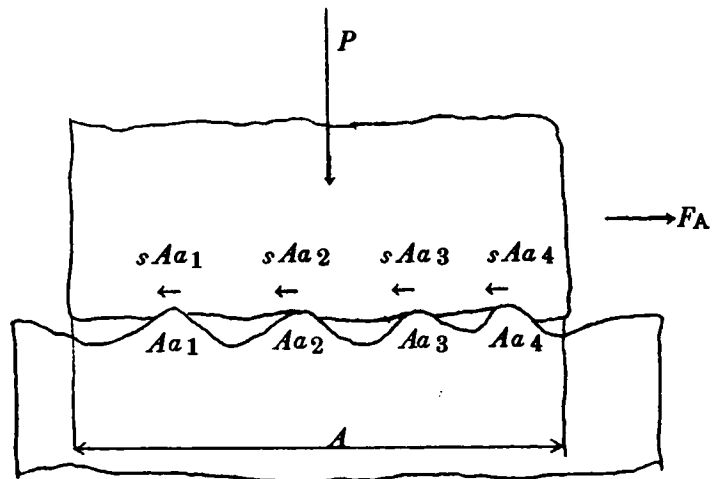


図 2-8

ゴム表面の付着力によるすべり抵抗

付着力が生ずることになる。 F_A はこの付着力による結合を剪断破壊するだけの外力を必要とする。その力は真の接触面積に比例し、そのときの比例定数が s である。したがって

$$F_A = \sum sAa_i = sAa \quad (2.1)$$

また垂直圧力を P とすると

$$Aa = CP^m \quad (2.2)$$

金属のようなものの場合には、その物質が降伏点をもち、そのときの応力が y であるとするとき $C = 1/y$, $m = 1$ となる。

$$\therefore Aa = \frac{P}{y} \quad (2.3)$$

摩擦係数を f_A とすると

$$f_A = \frac{sAa}{P} = \frac{s}{y} \quad (2.4)$$

Schallamach²⁾ によると理想弾性体でなめらかな表面の場合には $m < 1$,

球がなめらかな表面におしつけられた場合は $m = 2/3$ である。そしてゴムは張力のかかったとき明確な弾性係数をもたないが、ある圧力範囲では圧縮に対して準弾性的で $m < 1$ となるが、微視的な表面あらさのために $m > 2/3$ となる。球形の凹凸のある表面に対しては $m = 0.89$ といひ、また 0.87 ともいっている。ここでは一応 $m = 2/3$ とすると

$$f_A = \frac{sAa}{P} = \frac{sCP^{2/3}}{P} = s'C \cdot P^{-1/3} \dots\dots\dots (2.5)$$

したがって f_A は荷重 P に無関係ではないことになる。この実験例を図 2-9²⁾、図 2-10³⁾ に示す。また P が

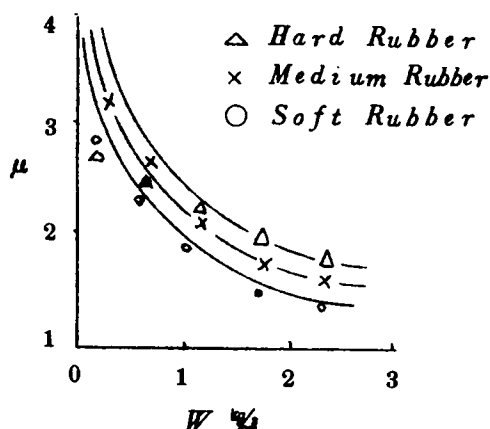


図 2-9 圧力とまさつ係数 (schallmach) 乾燥路面のすべり摩擦係数はオープン

一定の場合は f_A は Aa に比例し、 Aa が增大するにしたがって f_A は大きくなる。これは付着力に関するかぎり、粗な表面よりもなめらかな表面の方が f_A が大きいことを表わしている。実験的にもガラス等のなめらかな表面でゴムスライダーを用いた場合 f_A が 2.5 にも達すると報告されている。これは

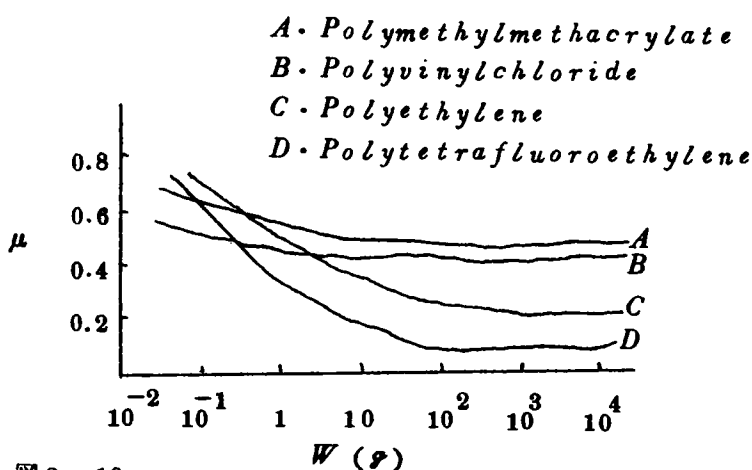


図 2-10 圧力とまさつ係数 (Shoote, Tabor)

グレイドのものよりも密粒のものの方が大きいことと一致している。また摩擦係数が往々 1.0 以上になることも一致している。
(2) 付着による摩擦とすべり速度との関係

ゴムの最大摩擦

係数は、すべり速度の小さいところで起り、静止点（静止摩擦係数）では起らないといわれている。これについて *Foster*⁴⁾ は図 2-11 のような実験結果を発表している。図 2-11 によると摩擦係数は速度の増加と共に増加し、最大値に達し、なおも速度が増大するところでは小さくなってゆく。この摩擦係数が最大になる速度はゴム性状、路面性状、圧力などに影響さ

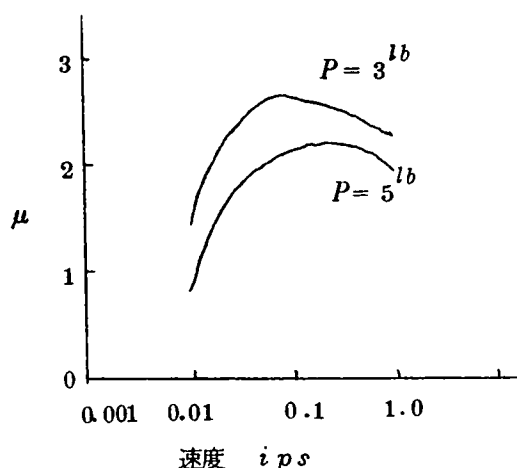


図 2-11
速度とまさつ係数 (*Foster*)

れる。しかし摩擦係数が最大になる速度は大体 1 インチ/秒 $\div 0.1 \text{ Km/h}$ のオーダーであって、われわれが道路走行上問題にする速度とはあまり関係がなく、静止摩擦と考えてもよい範囲である。したがって今後この問題にはあまり触れないことにするが、 $20 \sim 100 \text{ Km/h}$ の範囲でも速度に無関係ではないのである。

(3) 付着による摩擦と温度との関係

ゴムブロックがすべりを起している時の定常状態の温度は次のように考えられている。¹⁾

$$T = T_0 + \beta (f_A \cdot V \cdot P) / (\alpha \cdot d \cdot Aa) \dots\dots\dots (2.6)$$

ここで T_0 ははじめ $v = 0$ のときの温度、 d は機械的仕事量と熱カロリーの変換係数、 α はゴムブロックと路面との間の熱遷移率、 β は路面の比熱および熱伝導に関する定数、 Aa は真の接触面積である。上式に $Aa = C P^{\frac{2}{3}}$ を代入すると

$$\Delta T = (Const. \times f_A \cdot V \cdot P^{\frac{1}{3}}) / \alpha \dots\dots\dots (2.7)$$

となる。これによると $\Delta T \propto f_A$, $\Delta T \propto V$, $\Delta T \propto 1/\alpha$ となり P にはあまり影響されないことになる。ここで *Kummer* と *Meyer* は 0.5 ips (0.05 Km/h) までの小さいすべり速度では温度上昇は無視できて、摩擦抵抗に影響をあたえない。しかし 1.0 fps (1.0 Km/h) ぐらいになると f_A はぐっと下って、ゴムの融点に達すると、摩擦係数 f_A は最低値にまで下る。これらの関係を

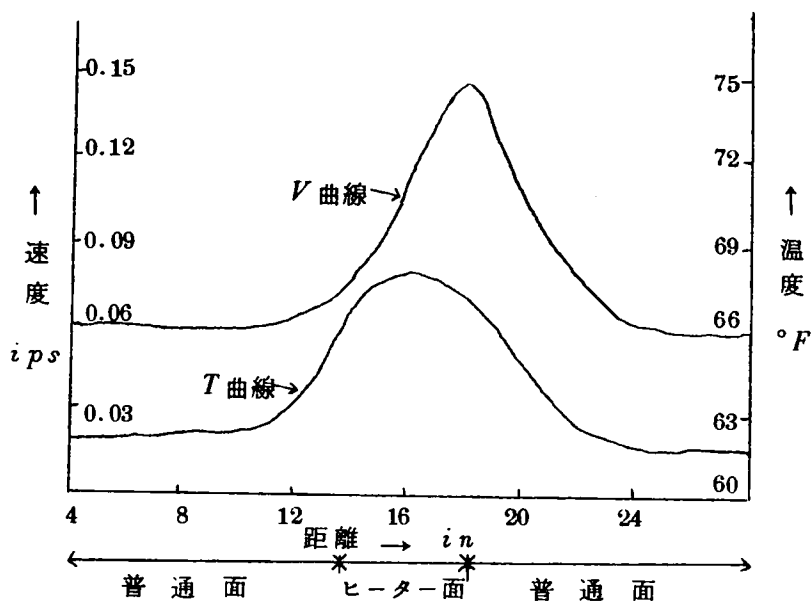


図 2-12 温度とすべり速度 (Meyer)
(一定引張り力)

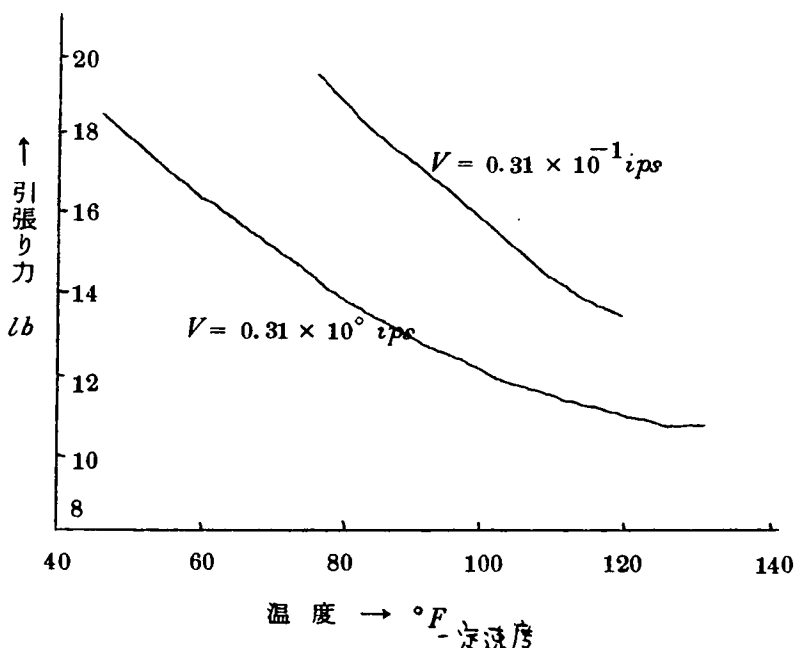


図 2-13 温度とすべり抵抗力 (引張り力) (Meyer)

Porile⁶⁾ はテフロンについて図 2-15 のような結果をえている。これらによると高分子材料は常温の範囲内でも転移点をもち、その付近でいちじるしい変化を示すことが考えられる。しかも転移点温度および変化性状は

示す実験として図 2-12¹⁾、図 2-13 がある。このように温度と摩擦係数の関係も、速度が大きくなるにしたがって低下し、われわれの考えている速度範囲では、低下した状態なのでそれ程急激な変化はないと考えられる。

しかしまた温度とすべり摩擦の関係は、高分子材料の温度による性質の変化の問題がある。King と Taber⁵⁾ はポリメタクリル、ポリエチレン、ケル-F、テフロンすべり面の温度と摩擦係数の関係を求め、図 2-14 のような結果をえている。同様に Flo^m と

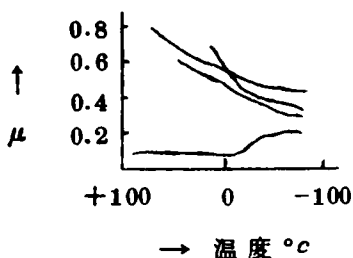


図2-14

温度とまさつ係数(Kiny.Tabor)

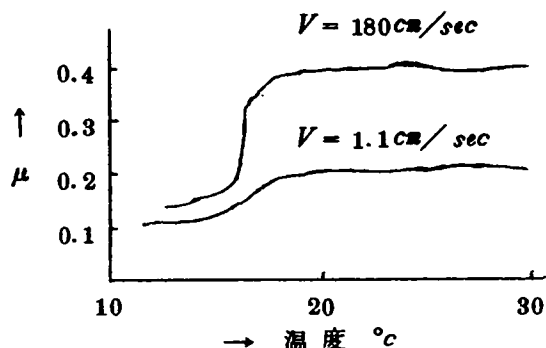


図2-15

温度とまさつ係数(Flom, Porile)

材質によって非常に複雑に異なる。これらを考慮に入れて才4章において実験的に実用の範囲で温度と摩擦係数の関係を検討する。

(4) ヒステリシス損失による摩擦

ゴムの表面が十分に潤滑されていて、波状の表面をすべる場合、付着による剪断抵抗は0となる。しかしゴムが種々変形し復原する場合、その間にヒステリシス損失が起る。このヒステリシス損失に相当する力がヒステリシス損失による摩擦力 F_B である。したがってヒステリシスによる摩擦力はゴムのヒステリシス値と、ゴムが受ける変形量(路面の微視的凹凸)とに比例する。これらの状況を図2-16に示す。Tabor⁷⁾はこのときのヒステリシス摩擦係数は球のコロがり抵抗係数と等しいと考えて次の如くした。

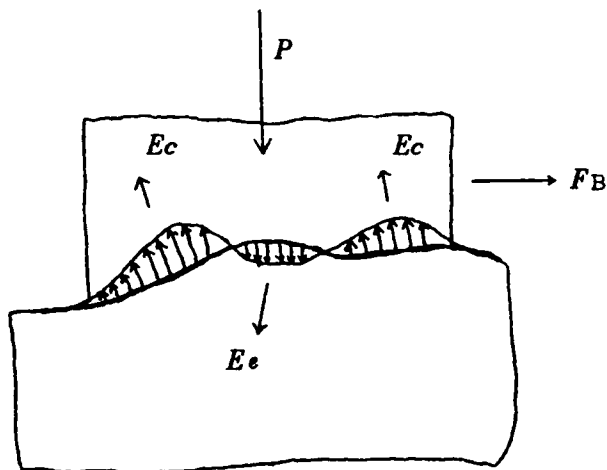


図2-16

ゴム表面のヒステリシスによるすべり抵抗

$$f_B = f_R = \text{Const} \times P^{\frac{1}{3}} \quad (2.8)$$

ここで真の接触面の平均圧力を P_a とすると

$$P_a = \frac{P}{A_a}, \quad A_a = CP^{\frac{2}{3}}$$

$$\therefore f_B = \text{Const} \times P_a \quad (2.9)$$

上式のConstはEin
(単位距離あたりの入

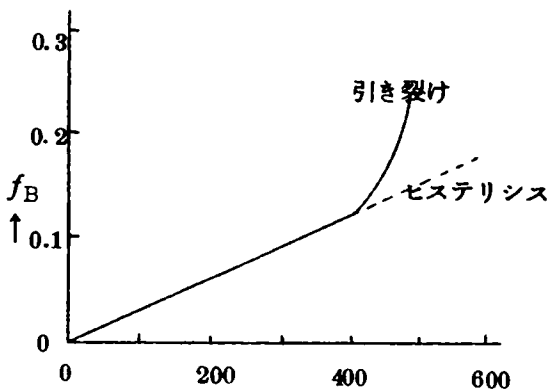


図 2-17 → 圧力 P_a psi

圧力とヒステリシスまっさつ (*Tabor*)

が 400 psi 以上になるといかに良好な湿潤面でも付着剪断力や凝集力抵抗が働いてくると思われる。そして図 2-17 から分るようにヒステリシスのみによる摩擦係数のオーダーは 0.1 前後であって路面が非常にすべりやすくなった時の極限值がこのあたりから考えられる。

(5) ヒステリシス損失による摩擦とすべり速度の関係

ヒステリシスによる摩擦の原因となっている、変形による損失 r は速度の変化によっても変わらないとされている。したがってヒステリシスによる摩擦係数は、速度には無関係と考える。しかしすべり速度がことなると変形速度がことなり、変形による損失 r もことなる、ということも一部では言われているが、あまり定量的には把握されていない。

(6) ヒステリシス損失による摩擦と温度との関係

湿った状態では温度が下ると摩擦係数は増大することが *Moyer*⁸⁾, *Giles and Sabey*⁹⁾, *Stegemann*¹⁰⁾ 等によって報告されている。その原因として考えられるのは、一つにはゴムの堅さが変化することがあり、また一つには水の表面張力の変化によっても考えられる。そして親水性のゴムが疎水性のゴムに比べて摩擦係数が大きいともいわれている。しかしいずれにしても現在までのところ明確な説明はえられていない。これらについても才 4 章において実験的に検討する。

(7) 凝集力を破壊するための摩擦力

路面上の鋭い突起がタイヤゴムを切るような場合、タイヤゴムの凝集力に抵抗して、これを破壊することがある。この場合タイヤゴムのもつ凝集力に

力エネルギー) $\times r$ (ヒステリシスによって起る損失) で表わされる。

$$\therefore f_B = r \cdot E_{in} \cdot P_a \quad (2.10)$$

Tabor は実験的にゴムの場合

$$f_B = 1.4 \times 10^{-4} P_a \sim f_B = 3 \times 10^{-4}$$

P_a の範囲であることを確かめ

た。これを図 2-17 に示す。

したがって真の接触面の平均圧力

相当する摩擦力が働くことになる。しかし実験的な推定によってもこの抵抗は全体の摩擦力の2%をこえないといわれている。²⁾ 本研究において、穴あき鋼板上でのすべり摩擦係数の測定において、穴の部分でタイヤゴムを多量に切取りながらも、摩擦係数は小さく、何等効果のなかったこととも一致している。

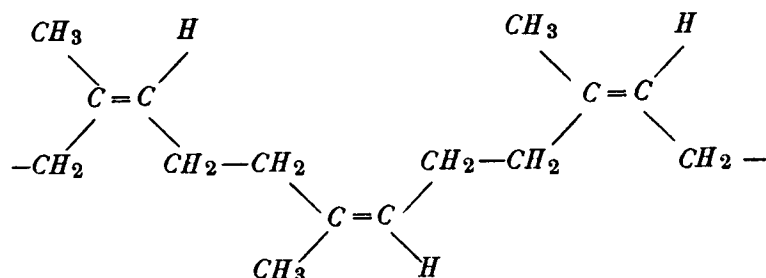
(8) すべり摩擦機構の実際

上述のようにゴムの摩擦の原因は、主として付着力によって起る剪断変形による摩擦係数 f_A と、ヒステリシス損失によって起る摩擦係数 f_B と、凝集力を破壊するための摩擦係数 f_C とからなっている。そして実際の路面上で、乾燥状態では付着による f_A が大部分である。湿潤状態では f_B が主要な部分となる。しかし実際に湿潤状態といえども f_B だけで摩擦抵抗をもっている場合は少なく、 f_A と f_B とからなりその比率がことなるだけである。そして f_C は特定の条件の場合にのみ問題になり、一般の場合はあまり大きい要素にはならない。

§ 2.3 タイヤの性質

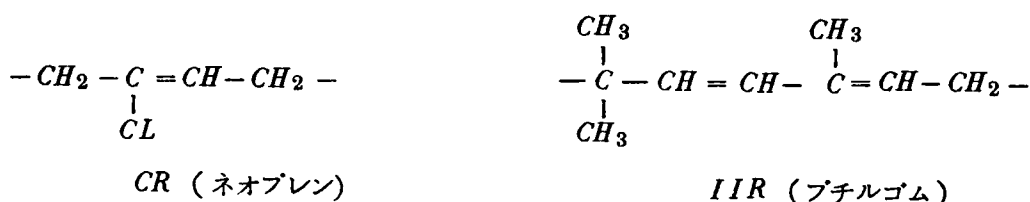
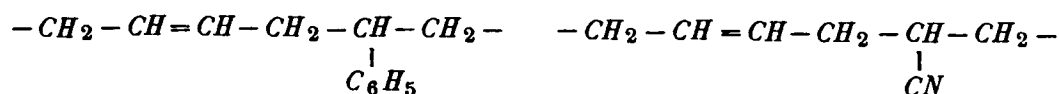
〔1〕 タイヤ用のゴム

現在自動車のタイヤに使用されているゴムは天然ゴムと合成ゴムの二種類がある。古くは天然ゴムのみが使用されていたが、オ二次大戦以後合成ゴムの使用は次々に盛んになってきている。天然ゴムはパラゴム樹からとられた乳状分泌物ラテックスを加工してえられたものである。化学的にはイソプレンの重合した鎖状高分子物質で次のような分子構造になっている。



天然ゴム (ポリイソブレン)

常温では強靱な弾性を示すが、加熱すると約120℃で軟化し始め、250～300℃で分解する。加硫するとこの性質はいくぶん向上するが、根本的には変らない。合成ゴムには天然ゴムと全く同じ分子構造をもつイソプレンゴムの外SBR（ブナS）、NBR（ブナN）、CR（ネオプレン）、IIR（ブチルゴム）等がある。主要なものの分子構造を示すと次の如くである。



これらの合成ゴムは天然ゴムと非常によく似た分子構造であり性質もほぼ同様であって、耐熱温度は100～200℃（普通160℃）であり、加硫されることも同様である。しかも実際にタイヤとして使用する場合は、天然ゴムと合成ゴムを混合使用している外に、カーボンブラック、プロセスオイル等を添加する。したがって実用のタイヤは各種のゴム質の種類と配合割合、添加材の種類と量によって多種多様のものが作られている。だから実用のタイヤゴム質は巨視的にはほとんど皆同じ性質であるが、詳細に検討すると各社の製造方法によって性質は異なると考えられる。以下にはタイヤのゴム質の相違は、一般に考慮に入れないことにする。

タイヤゴム質のうちすべり摩擦に関係のあるものはまずヒステリシス特性である。ヒステリシス特性の大きいものほどすべり抵抗は大きい。またタイヤゴムの硬さも関係してくる。ゴムの硬さは局部圧力の大きさを決定する因子であり、トレッドゴムが硬いほど接地面における接触面積が小さくなり、そのため局部圧力は大きくなり、ヒステリシスによるすべり抵抗は増加する。タイヤゴムの転移点がすべり摩擦に関係することは§2.2でのべた。タイヤゴムの融点もすべり摩擦に影響がある。乾燥路面ですべる場合のトレッド温度は200℃以上になるものと推定されており、この時ゴムが融けているこ

とは黒いスキッドマークから明らかである。したがってゴムの熱的性質、およびすべり面の温度がすべり摩擦係数に影響をおよぼし、すべり面の温度はすべり面の性状の外に外気温度、路面温度の影響を受けると考えられる。

〔2〕 タイヤ構造と圧力分布

自動車用タイヤの標準的な断面形状を図2-18に示す。タイヤは一般に内部に空気を入れ、タイヤ表面の圧力分布はタイヤ内圧に等しく一様になるように考えられている。しかしカーカスのある側面下部はどうしても接地圧が多少大きくなる。またプライ数、コードのタイヤ横断面となす角等のカーカス構造は横すべり角の小さいときの横すべり摩擦係数には関係するが、縦すべり摩擦係数にはあまり関係しない。

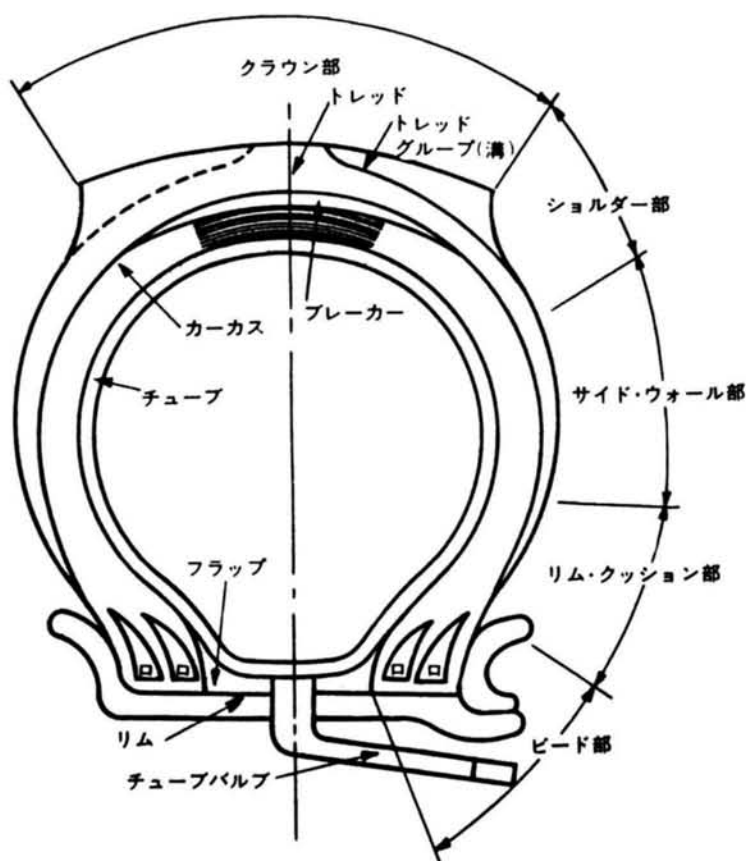


図2-18 タイヤ断面図

〔3〕 トレッド模様（トレッドパターン）

タイヤが路面に実際に接触する部分はトレッドであり、タイヤのすべり摩擦はトレッドと路面のすべり摩擦と言ってよく、トレッドゴムの性質およびパターンがすべり摩擦に最も重要な関係をもつ。

トレッドパターンはタイヤの路面に対するすべり摩擦係数を大きくする目的と、走行中車輛の振動をなるべく少なくする目的との二つをもっている。車輛の振動を少なくするためにはなるべく平滑な面がよい。一方トレッドパターンがすべりに対してどの程度有効であるかは路面の粗さ、および路面のよごれによって大いに異なる。湿潤の場合に平滑な路面では、模様つきタイヤが絶対に優れているが、粗くてざらざらした路面では平滑タイヤは模様つきタイヤと同等あるいはそれ以上のすべり抵抗を示す。乾燥路面では平滑タイヤの方が接触面積が大きいので、常に模様つきタイヤより高いすべり抵抗を示す。したがって湿潤時の排水性をよくしたり、よごれた路面（砂利道を含む）での走行性をもたせるために、あるていどトレッド模様のあるものがよい。実際にはこれらの目的を考慮してスムースタイヤ、リブタイヤ、ラグタイヤ、グリップタイヤ、スノータイヤ等が作られている。これらを図2-19に示す。

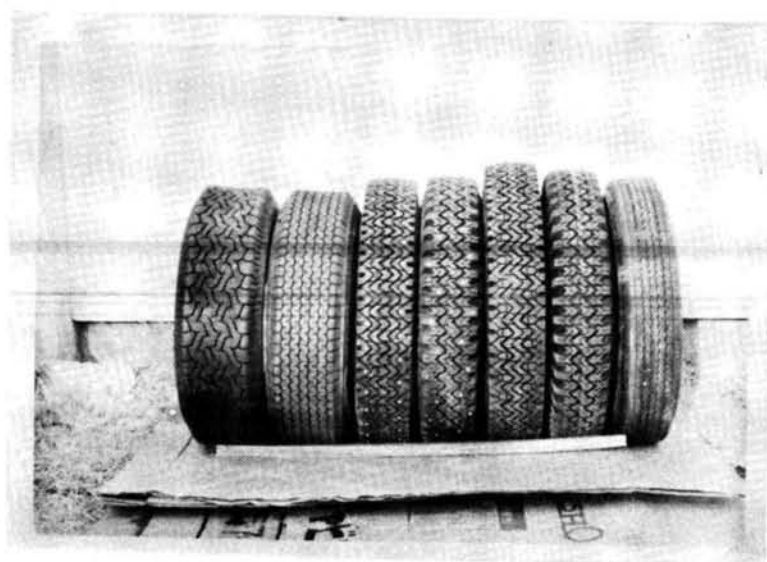


図2-19
各種タイヤの
トレッド模様

左より、
レースタイヤ・2本
スパイクタイヤ2本
スノータイヤ・2本
リブタイヤ・1本

スムースタイヤは完全に表面が平滑なタイヤで特殊の試験車、輾圧車等によりのみ使用されている。リブタイヤは乗用自動車をはじめ最も普通に使用されているものであって、排水性もよくしかも接地面は連続しているため、車輛の振動を少なくする効果がよい。ラグタイヤはトラック等重荷重でいくぶん乗心地を悪くしてもよいが、悪路でも十分けん引力を保つ必要がある場合に使用される。グリップタイヤはヂーブ等を使用されるもので、悪路でのけん引力を保つことをオ一の目的として、なお乗心地性も保つように作られたものである。スノータイヤは

図 2-20 のようなトレッドパターンをもったもので、トレッドの突出した面と雪面の間の摩擦抵抗の外に、トレッドの溝に入った雪の剪断抵抗を大きく利用するように考えられたものである。完全なラグ型の場合には溝の中の前後の雪のつながりがなくて雪が壊れやすく、前後方向の摩擦抵抗が小さく、また横方向のすべ

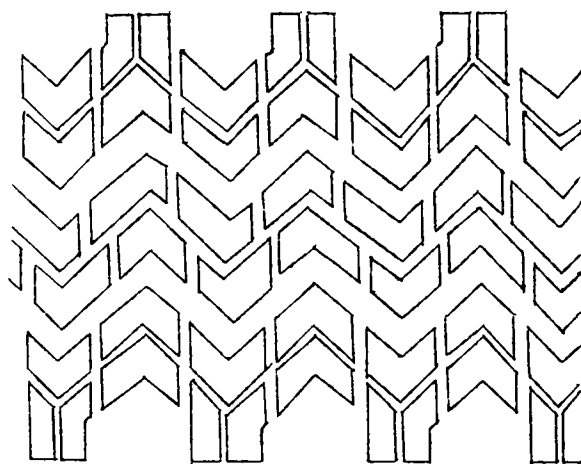


図 2 - 20

スノータイヤのトレッド模様

り抵抗も小さい。完全なリブ型の場合には溝の中の雪は壊れにくく横方向に対する抵抗は大きい。したがってラグとリブをかね合せたような斜めパターンがよい。この外特殊の目的として高速走行用のタイヤとか、冰雪上で使用するスパイク（鋌付）タイヤ、およびタイヤチェーンをつける方法等も行なわれている。

§ 2.4 路面の性質

〔1〕 路面の種類

路面の性質はすべり摩擦に大きい影響をあたえる。まず路面の種類として次のようなものが考えられる。

(1)コンクリート舗装面、(2)アスファルト舗装面、(3)ブロック舗装面、(4)簡易

舗装面、(5)土砂路面、(6)仮設路面、(7)冰雪路面、(8)その他特殊路面。これらのうちコンクリート舗装面およびアスファルト舗装路面は現在最も普通の路面であり、本研究においてもこれらの路面を中心に検討を進める。ブロック舗装は古い型式の舗装であって平坦性も悪く、すべり摩擦係数も比較的小さいので最近はあまり使用されないようになった。ブロック舗装はすべり摩擦係数が大きいように錯覚され勝ちであるが、それは歩行者または牛馬に対して足がかりを与えるに過ぎず、走行中の自動車タイヤに対しては何等好影響を与えない。これは粗面の舗装が必ずしも摩擦係数が大きくないのと同様である。簡易舗装路面は表面の性質よりもむしろ舗装体の強度と耐久性の分類であって表面はアスファルト舗装面の一種と考えてよく、すべりを論ずる場合特別に分けて考える必要もないと思われる。土砂路面も近時道路の舗装が進展してきたので、特に論ずる程のこともないが、路肩および路側帯に車が侵入した場合の安全性を論ずるのに必要になってくるので、この意味での土砂路面のすべり摩擦を考えることにする。仮設路面は工事中の仮道等に対する検討であって、特に大きい意味をもつものではない。冰雪路面は舗装の種類にかかわらず、その面上に冰雪があった場合非常にすべり摩擦係数が小さくなるので十分検討しなければならない。本研究においては冰雪路面のすべりとその対策は特に新しい問題であり、重要な問題であるので特別にとりあげた。その他特殊路面として、すべり摩擦係数の大きい骨材（エメリー、シリカサンド等）をエポキシ樹脂^{樹脂}で^{樹脂}接着したすべり止め路面についても検討する。

これら舗装の種類とすべり摩擦係数については一定の関係はなく、どの種類の路面でもその組成、材料の性質等によって非常に良好なすべり摩擦係数を持つ場合と、そうでない場合とがある。コンクリート舗装とアスファルト舗装では、両者の間にすべり摩擦係数についてはあまり差がないようである。ただアスファルト系の舗装の方がすべり摩擦係数の分布範囲が広く、すべりにくいものからすべりやすいものまでであることは明らかである。

〔2〕 骨材の性質

舗装混合物は骨材と結合材とよりなっている。しかも構成比は骨材が大部分を占めるので、舗装のすべり摩擦を支配する一つの要素となる。骨材の種

類、粒径、形状、硬度、摩耗特性および化学組成などは、直接影響を持つ重要な性質である。鉾苳や砂岩はすべり止め骨材として一般に良好である。石灰岩は摩耗に対して弱くしかも平滑に摩耗するのでよくない。粗骨材と細骨材の比の摩擦係数との関係については一定した結論はえられていない。これらについては才4章において検討を加える。しかし粗骨材と細骨材の合計したものの舗装表面に占める面積比の大きいものがすべり摩擦係数も大きいことは明らかである。骨材粒の形状も路面のすべりにとって非常に重要な要素であり、ザラザラしたサンドペーパー状の路面に仕上げるためには個々の骨材粒がとがって角張っているのがよい。骨材が最初にとがって角張っていると同時に、交通や気象作用に対して抵抗性を持ち、その形状を長く維持できることも必要である。摩耗するときにも平滑になるのではなく、常に表面にとがった形状を残しながら摩耗するような骨材がよい。骨材の化学組成も舗装のすべりに影響があると考えられているが、その状況はまだ明らかではない。

〔3〕 結合材の性質

結合材として考えられるのはアスファルトとセメントペーストである。結合材としてのアスファルトはそれ自身はすべり摩擦係数は小さい。特に湿潤の場合にはすべりまさつ係数は小さくなる。フラッシュしたアスファルト舗装面は極端にすべり摩擦係数が小さい。コンクリート舗装においても、富配合のものはすべり摩擦係数が小さく、特に湿潤の場合に小さくなる。これらについては才4章で詳しくのべる。

§ 2.5 結 語

タイヤのすべりについて論ずるに当たって、まずすべり抵抗と、すべり摩擦抵抗の関係を明らかにした。すなわちタイヤと路面の間のすべり現象は、正確にはすべり抵抗であり、すべり抵抗係数であるが、その内容はすべり摩擦およびすべり摩擦係数と非常に類似したものであり、今後の解析を進める上で、摩擦係数の概念によった方が論じやすいので、以後すべり摩擦係数という用語を使用することにした。

次にすべり摩擦の定義として、縦すべり摩擦抵抗とは、タイヤが進行方向

と同一方向に回転しているときに、タイヤに制動力を与え、このときタイヤの接地面に進行方向と逆方向に生ずる抵抗力をいい、抵抗力のタイヤ荷重に対する比を縦すべり摩擦係数という。横すべり摩擦抵抗とはタイヤを自由に回転させたままタイヤの回転方向と θ の角度の方向に変位を起させようとした場合、タイヤ面に直角な方向に働く抵抗をいい、抵抗力のタイヤ荷重に対する比を横すべり摩擦係数という。この場合 θ を横すべり角といい、一般には横すべり角 90° の場合を単に横すべり摩擦係数といい、その他の場合は横すべり角を付けていう。したがって縦すべり摩擦係数とすべり角 90° の場合の横すべり摩擦係数は本質的に同一のものである。またタイヤに制動をかけて斜め方向にすべらせた場合のすべり抵抗は、縦すべり摩擦抵抗である。

路面とタイヤの間のすべり摩擦について考える場合、まず、ゴムのすべりの基本となる性質を明らかにする必要がある。ゴムのすべり摩擦抵抗は付着面の剪断による抵抗と、ゴム体のヒステリシス損失による抵抗と、凝集力による抵抗とが考えられる。付着による剪断抵抗はすべり摩擦抵抗の大部分を占め、特に乾燥状態のすべり摩擦抵抗として大きく働く。この摩擦係数 f_A は荷重のほぼ3乗根に逆比例し、荷重が一定の場合は真の接触面積に比例する。したがって付着による剪断抵抗については（乾燥の場合）荷重強度が小さく、表面がなめらかな場合にすべり摩擦係数は大きくなる。次に、ヒステリシス損失によるすべり摩擦抵抗は、ゴム表面が十分潤滑な場合の抵抗であって、湿潤路面のすべり摩擦抵抗の本体である。この摩擦係数 f_B は真の接触面の平均圧力に比例する。したがって路面が粗で、ゴム質の硬い場合に大きくなる。凝集力による摩擦係数 f_C は路面がゴムを切ったり、削ったりするような特殊な条件の場合にのみ働き、一般に摩擦係数のごく小部分にすぎない。

すべりに関係するタイヤの性質としては色々のものが考えられるが、主要なものは圧力分布、トレッド模様、タイヤゴム質であり、トレッド模様は特に湿潤状態での摩擦係数と関係が深い。タイヤのゴム質では付着剪断力が最も重大であり、次いでゴムのヒステリシス特性と温度特性もすべり摩擦に大きい影響をおよぼす。

すべりに関係する路面の性質としては、舗装の種類よりも骨材の性質と骨

材比が大切であり、摩耗して平滑になるような骨材はもっともよくない。結合材は富配合にすぎたり、フラッシュしたりするものがよくない。氷雪路面のすべりは一般に舗装の種類には関係なく、しかも摩擦係数は特に小さいので特別に検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Kummer and Meyer, "Rubber and tire friction." Eng. Research, Bulletin, Pennsylvania State University. (B-80) 1960.
- 2) Schallamach, A. "Load dependence of rubber friction." Proc. Physical Society, London 65 B 1952.
- 3) K. V. Shooter and D. Tabor, Proc. Royal Society B 65 1952.
- 4) Foster, R. "Friction of rubber at low sliding velocities." M. S. thesis, Department of Mechanical Engineering, Pennsylvania State University, 1961.
- 5) R. F. King and D. Tabor, Proc. Royal Society, B 66, 1953.
- 6) D. G. Flow and N. T. Porile, Nature 175, 1955.
- 7) D. Tabor, "Mechanism of rolling friction." Philosophical Magazine, 7-43, 1952.
- 8) R. A. Moyer, "Skidding characteristics of automobile tires on roadway surface and their relation to highway safety." Iowa Eng. Experiment Station, Bulletin, 120, 1934.
- 9) C. G. Giles et al. "A note on the problem of seasonal variations in skidding resistance." Proc. 1st International Skid Prevention Conference, University of Virginia, 1958.
- 10) W. Stegemann, "Rutschsicherheit." Bulletin, Phoenix Gummiwerke, Hamburg W. Germany, 1953.

第 3 章 制動時における車両運動とすべり抵抗

§ 3.1 概 説

本章においては自動車の走行運動と路面のすべり摩擦係数の関係についてのべる。自動車走行とすべりの関係は基本的には直線走行とすべりの関係であり、すべり摩擦係数と制動停止距離の関係が最も重要である。従来制動停止距離の計算は制動中すべり摩擦係数は一定であるとした簡単な計算式によっていた。しかし§ 4.5 から明らかな通り同一路面であっても摩擦係数は速度に応じて変化するので制動停止距離の計算に当たっても当然この相関を用いて行うべきであり、その公式を導き出した。

また空気抵抗の制動停止距離に対する影響も定量的に検討した。

次いで制動をした場合、左右のすべり摩擦係数が異なる場合の車の回転についてものべた。

さらに曲線部走行中の横すべりの問題については、タイヤの回転時と制動時の差違について論じ、制動時には小さい外力によっても横方向にすべりやすいことが明らかになった。

また路側余裕巾部分のすべり抵抗が走行の安全性上非常に大切であり、今後路側部のすべり摩擦と巾員を検討することによって定量的な安全性を確保することができることについてのべる。

§ 3.2 直線走行とすべり

自動車が直線部または直線にほぼ近い状態の道路を走行中、危険を感じて制動した場合、自動車は路面とタイヤの間の縦すべり摩擦抵抗によって減速し、停止する。

一方道路構造においては走行中常に確保しなければならない視距として、十分な制動停止距離を計算している。すなわち直線部走行において問題になるのは縦すべりまさつの係数と制動停止視距の関係である。縦すべり摩擦係数と制動停止距離の関係は単なる視距の外に、車両が路側に逸脱する場合の

安全性、事故の場合の制動距離と当初速度の関係の解明などにも重要である。

さらにタイヤと路面の間の縦すべり摩擦抵抗に左右の差がある場合、車両は回転して停止することになる。実際には回転を始めると運転手はブレーキをゆるめるとか、ハンドルを切るなど何等かの操作を行うので複雑な現象を呈するが、事故の原因となるので重要な問題である。

(1) 縦すべり摩擦係数による制動停止距離の計算

道路走行中の自動車の制動停止距離はすべり摩擦係数から、計算されることは明らかである。しかし、すべり摩擦係数の状況があまり明らかでなかったもので、今までほとんどすべり摩擦係数は制動中一定とした簡単な計算によって制動停止距離を計算していた。その結果計算された制動停止距離は正確さに欠けるため、道路の構造の基準の算定等安全側のものについては使用されていたが、交通事故のスリップの解析等にはあまり適当ではなかった。今回 § 4-5 において速度とすべり摩擦係数の相関がえられたので、これらを利用した一般的な制動停止距離の計算についてのべる。

(1) 摩擦係数を一定とした制動停止距離の計算

一般に自動車の走行状態における釣合は次のようになる。

$$P = \nu W = \left\{ \mu_r + i + (1 + \epsilon) \frac{\alpha}{g} \right\} W + \mu_l \cdot F \cdot V_a^2 \quad (3-1)$$

$$\therefore \nu = \mu_r + i + (1 + \epsilon) \frac{\alpha}{g} + \frac{1}{W} \cdot \mu_l \cdot F \cdot V_a^2 \quad (3-2)$$

ここで P は自動車のけん引力、 ν はけん引状態における摩擦係数、 W は自動車の重量、 μ_r はころがり摩擦係数、 i は道路の縦断勾配、 α は自動車の加速度、 ϵ は自動車の回転部分相当量を自動車の重量 W に換算した係数、 μ_l は空気抵抗係数、 F は自動車の前面投影面積、 V_a は自動車と空気の相対速度である。

自動車の制動を加えた場合は、外力 P の代りに制動抵抗 $R = -f \cdot W$ が働くことになる。したがって (3-1) 式において νW の代りに $-f \cdot W$ を入れると

$$-f = \mu_r + i + (1 + \epsilon) \frac{\alpha}{g} + \frac{1}{W} \cdot \mu_l \cdot F \cdot V_a^2 \quad (3-3)$$

ここで $V_a = V$ とし、 f μ_r μ_L は速度に関係なく一定として制動停止距離 S を計算すると (3-3) より

$$\alpha = \frac{dv}{dt} = -\frac{g}{(1+\epsilon)} \cdot \left(f + \mu_r + i + \frac{1}{W} \cdot \mu_L \cdot F \cdot V^2 \right)$$

これを2回積分すると

$$S = \frac{(1+\epsilon)W}{g \cdot \mu_L \cdot F} \log \sqrt{1 + \frac{\mu_L \cdot F \cdot V^2}{(\mu_r + f + i)W}} \quad (3-4)$$

実用的に制動中は $\epsilon = 0$ 、 $\mu_r = 0$ とし、縦断勾配はないとすると (3-3) 式より次の通りとなる。¹⁾

$$S = \frac{W}{g \cdot \mu_L \cdot F} \log \sqrt{1 + \frac{\mu_L \cdot F \cdot V^2}{f \cdot W}} \quad (3-5)$$

実際の自動車に対する空気抵抗率を計算すると表3-1のようになる。

表3-1 自動車の空気抵抗率

車 種	μ_L	F	W	空気抵抗率 = $\mu_L \cdot F \cdot V^2 / W$					
				30km/h	40	50	60	70	100
国産中型乗用車	0.0025	22m ²	1500kg	0.003	0.006	0.009	0.013	0.018	0.037
大型トラック	積載	0.0045	5.1	10.000	0.002	0.004	0.006	0.008	0.011
	空車	0.0045	5.1	5.000	0.004	0.007	0.012	0.017	0.023
大型バス	0.0035	6.7	12.000	0.002	0.003	0.005	0.007	0.010	0.020

μ_L : 空気抵抗係数 F : 自動車の前面投影面積 W : 自動車の重量

空気抵抗率 ($\mu_L \cdot F \cdot V^2 / W$) はすべり摩擦係数 f に相当するものとなる。

ここで μ_L は F を m²、 V を km/h とした場合 $\mu_L \cdot F \cdot V^2$ が kg となるような係数値である。

表3-1の値に対して路面のすべり摩擦係数は0.8~0.3程度の範囲にあるため、最悪の条件でも、空気抵抗はすべり摩擦抵抗の約10%であり、普通5%以下の影響しかあたえない。したがって低速の場合、および空気抵抗係数の小さい車の場合には、制動停止距離の計算に当って、空気抵抗を考える必要はない。ただ走行中の抵抗を考える場合は、自動車のころがり抵抗との比較となり、ころがり抵抗は一般の舗装道路上では0.01~0.025であるから、30~40km/hの低速の範囲では影響は小さいが、70km/h以上となると空気抵抗の方が大きくなるので非常に重要な問題となるのである。

さらに簡単にして最も普通に用いられている制動停止距離の計算は(3-2)式において $\mu_r=0$ 、 $i=0$ 、 $\varepsilon \div 0$ とし、空気抵抗も考えないものとする

$$-f = \frac{\alpha}{g}$$

$$\therefore \alpha = \frac{d^2 s}{dt^2} = -fg \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

(3-5)を積分して制動停止距離をだすと

$$S = \frac{V_0^2 - V^2}{2g \cdot f} \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

完全に停止するまでの距離は

$$S = \frac{V_0^2}{2g \cdot f} \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

実用計算上 V を Km/h 、 S を m 単位で表わし、 $g \div 9.8 \text{ m/sec}^2$ とすると

$$S = \frac{V^2}{254 \cdot f} \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

これが最も普通に用いられている式である。²⁾

いま表3-1の中型乗用車が 70 Km/h の場合について(イ)空気抵抗を考慮した制動停止距離を(3-4)式より計算すると $S \div 62.4 \text{ m}$ となる。(ロ)一方空気抵抗を考えない、 f 一定の(3-8)式によって計算すると $S \div 64.3 \text{ m}$ となる。すなわち空気抵抗を考慮しない場合約 1.9 m 、3%制動停止距離が長くなる。

(2) 摩擦係数を一次関数とした制動停止距離の計算³⁾

すべり摩擦係数を一定にするよりも、もう少し正確な方法として、すべり摩擦係数を速度の一次関数として表わすことができる。また速度とすべり摩擦係数の正確な相関式はえられないが、⁴⁾主要な速度に対する摩擦係数はえられている場合もある。道路構造令解説の視距に関する所にてでている速度と摩擦係数の関係は図3-1の通りである。図3-1において速度と摩擦係数の相関を一次式の組合わせ、 $ABCD$ と考えることができる。このように速度と摩擦係^数の関係を一次式、または一次式の組合わせとして計算する場合について考^える。ここで一次式を次の通りとする。

$$f = av + b \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

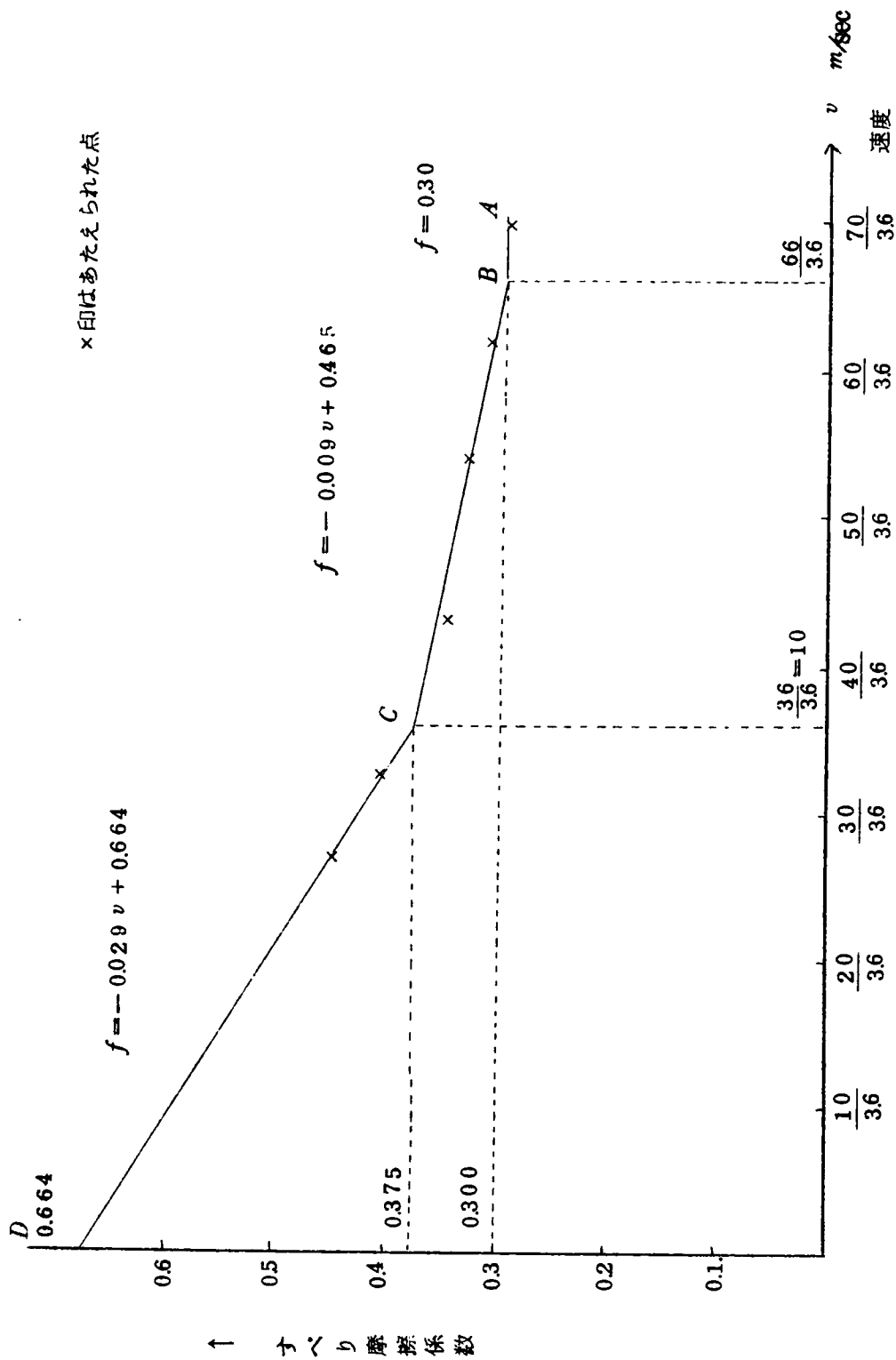


図3-1 速度とすべり摩擦係数(湿潤)道路構造令解説による

ここで f はすべり摩擦係数、 v は速度、 a 、 b は常数である。加速度と摩擦係数の関係は (3-5) より

$$\alpha = \frac{d^2 s}{d t^2} = \frac{d v}{d t} = -g \cdot f \dots\dots\dots (3-10)$$

(3-9) を (3-10) に代入すると

$$\frac{d^2 s}{d t^2} = \frac{d v}{d t} = -g \cdot a \cdot v - g \cdot b = -(a' v + b') \dots\dots\dots (3-11)$$

ここで $a' = g \cdot a$ 、 $b' = g \cdot b$ とする。(3-11) より

$$\int \frac{1}{a' v + b'} d v = - \int d t$$

$$\therefore \log (a' v + b') = -a' t + C_1$$

$$\therefore a' v + b' = C_2 e^{-a' t}$$

$$v = \frac{1}{a'} \cdot (C_2 e^{-a' t} - b') \dots\dots\dots (3-12)$$

$t = 0$ のとき $v = v_0$ とすると

$$v_0 = \frac{1}{a'} (C_2 - b')$$

$$\therefore C_2 = a' v_0 + b' \dots\dots\dots (3-13)$$

(3-13) を (3-12) に代入すると

$$v = \frac{1}{a'} \{ (a' v_0 + b') e^{-a' t} - b' \} \dots\dots\dots (3-14)$$

$$e^{-a' t} = \frac{a' v + b'}{a' v_0 + b'} \dots\dots\dots (3-15)$$

$$\therefore t = -\frac{1}{a'} \log \cdot \left(\frac{a' v + b'}{a' v_0 + b'} \right) \dots\dots\dots (3-16)$$

(3-14) 式において $v = ds/dt$ であるから

$$S = \int \frac{1}{a'} \{ (a' v_0 + b') e^{-a' t} - b' \} d t$$

$$= -\frac{1}{a'^2} (a' v_0 + b') e^{-a' t} - \frac{b'}{a'} \cdot t + C_3 \dots\dots\dots (3-17)$$

$t = 0$ のとき、 $s = s_0$ とすると

$$C_s = s_0 + \frac{1}{a'^2} (a' v_0 + b') \dots\dots\dots (3-18)$$

(3-15) (3-16) (3-18) を (3-17) に代入すると

$$S = -\frac{1}{a'^2} \cdot (a' v + b') + \frac{b'}{a'^2} \log\left(\frac{a' v + b'}{a' v_0 + b'}\right) + s_0 \\ + \frac{1}{a'^2} (a' v_0 + b')$$

$a' = g \cdot a$ 、 $b' = g \cdot b$ としてもとにもどせば

$$s - s_0 = \frac{1}{g \cdot a} \left\{ (v_0 - v) + \frac{b}{a} \cdot \log\left(\frac{a v + b}{a v_0 + b}\right) \right\} \dots\dots\dots (3-19)$$

(3-19) より単一の一次関数の場合、全制動停止距離 S は

$$S = \frac{1}{g \cdot a} \left\{ v_0 + \frac{b}{a} \log\left(\frac{b}{a v_0 + b}\right) \right\} \dots\dots\dots (3-20)$$

図 3-1 のような一次関数の組合わせの場合

$$S = \sum S_i = \sum \left[\frac{1}{a_i g} \left\{ v_{i,0} - v_{(i+1),0} + \frac{b_i}{a_i} \log\left(\frac{a_i v_{(i+1),0} + b_i}{a_i v_{i,0} + b_i}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3-21)$$

これらの式を用いて図 3-1 の 70 Km/h よりの制動停止距離を計算すると $S \div 54.4 \text{ m}$ となる。これを 70 Km/h に対する摩擦係数を 0.30 とし、これを一定として (3-8) 式によって計算すると $S \div 64.0 \text{ m}$ となる。速度減による摩擦係数の増加を考慮しない場合約 10 m、19 % 制動停止距離が長くなる。

(3) 摩擦係数を二次関数とした制動停止距離の計算³⁾

次章でのべる § 4.5 の結果から、摩擦係数は速度の二次関数として表わされることが明らかである。この場合には次のようになる。

速度と摩擦係数の相関式を次のごとくすると

$$f = a v^2 + b v + c \dots\dots\dots (3-22)$$

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -g \cdot f$$

$$= -(g \cdot a \cdot v^2 + g \cdot b \cdot v + g \cdot c)$$

$$= -a' v^2 + b' v + c' \dots\dots\dots (3-23)$$

ここで $a' = -a \cdot g$ 、 $b' = -b \cdot g$ 、 $c' = -c \cdot g$ である。

$$\therefore \int \frac{1}{a' v^2 + b' v + c'} dv = \int dt \quad \dots\dots\dots (3-24)$$

ここで $a' v^2 + b' v + c' = 0$ の判別式の正負が問題になるが、さきにえられた二次相関式では、一般に判別式は負になるので、負の場合についてとくと、
(3-24) より

$$\frac{1}{a'} \int \frac{1}{\left(v + \frac{b'}{2a'}\right)^2 + \left(\frac{D'}{2a'}\right)^2} dv = \int dt$$

ここで $D' = \sqrt{4a'c' - b'^2}$ である。

$$\therefore \frac{2}{D'} \tan^{-1} \left(\frac{2a'v + b'}{D'} \right) = t + C_1 \quad \dots\dots\dots (3-25)$$

$$\tan \left\{ \frac{D'(t + C_1)}{2} \right\} = \frac{2a'v + b'}{D'}$$

$$\therefore v = \frac{D'}{2a'} \tan \left\{ \frac{D'(t + C_1)}{2} \right\} - \frac{b'}{2a'} \quad \dots\dots\dots (3-26)$$

$t = 0$ で $v = v_0$ とすると

$$C_1 = \frac{2}{D'} \tan^{-1} \left(\frac{2a'v_0 + b'}{D'} \right) \quad \dots\dots\dots (3-27)$$

(3-26) より

$$S = \frac{D'}{2a'} \int \tan \left\{ \frac{D'(t + C_1)}{2} \right\} dt - \frac{b'}{2a'} \int dt$$

$$\therefore S = \frac{1}{a'} \log \left\{ \cos \frac{D'(t + C_1)}{2} \right\} - \frac{b'}{2a'} t + C_2 \quad \dots\dots\dots (3-28)$$

$t = 0$ で $S = S_0$ とすると

$$C_1 = S_0 + \frac{1}{a'} \log \left(\cos \cdot \frac{D' C_1}{2} \right) \dots\dots\dots (3-29)$$

完全に停止するまでの時間 t は (3-26) 式において $v=0$ としてえられる。

$$\frac{D' (t + C_1)}{2} = \tan^{-1} \left(\frac{b'}{D'} \right)$$

$$\therefore t = \frac{2}{D'} \tan^{-1} \left(\frac{b'}{D'} \right) - C_1 \dots\dots\dots (3-30)$$

(3-28) 式に (3-27) (3-29) (3-30) を代入して計算すると

$$S - S_0 = \frac{1}{a'} \log \left\{ \frac{\cos \cdot \tan^{-1} \left(\frac{2 a' v_0 + b'}{D'} \right)}{\cos \cdot \tan^{-1} \left(\frac{b'}{D'} \right)} \right\} - \frac{b'}{a' D'} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{b'}{D'} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{2 a' v_0 + b'}{D'} \right) \right\} \dots\dots\dots (3-31)$$

ここで $S_0 = 0$ 、 $a' = -a \cdot g$ 、 $b' = -b \cdot g$ 、 $c' = -c \cdot g$ とすると

$$S = - \frac{1}{a g} \left[\log \left\{ \frac{\cos \cdot \tan^{-1} \left(\frac{-2 a v_0 - b}{D} \right)}{\cos \cdot \tan^{-1} \left(\frac{-b}{D} \right)} \right\} - \frac{b}{D} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{-b}{D} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{-2 a v_0 - b}{D} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3-32)$$

ここで $D = \sqrt{4 a c - b^2}$ である。

今もし判別式が正の場合は (3-24) 式において

$$\frac{1}{a' v^2 + b' v + c} = \frac{1}{(\alpha - \beta)} \left(\frac{1}{v - \alpha} - \frac{1}{v - \beta} \right)$$

とおきかえて積分を行なえばよい。その結果は次の通りとなる。

$$S = \log \left(\frac{\alpha - \beta}{v_0 - \beta} \right) - \frac{1}{\alpha - \beta} \left[\alpha \log \left\{ \frac{(v_0 - \alpha)(\alpha - \beta)}{-(v_0 - \beta)\alpha} \right\} - \beta \cdot \log \left\{ \frac{(\beta - \alpha)}{\beta} \right\} \right] \dots\dots\dots (3-33)$$

ここで

$$\alpha, \beta = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

である。

ここですべり摩擦係数と速度の二次関数を § 4.5 でえられる コンクリート舗装、湿潤の相関式を

$$f = 0.000105 t^2 + 0.00002 v t - 0.0111 t + 0.000056 v^2 - 0.0117 v + 1.19$$

とし、いま路面温度 $t = 20^\circ\text{C}$ の場合について計算すると

$$f = 0.000056 v^2 - 0.0113 v + 1.01$$

これをさきの (3.32) 式に代入して、初速度 70 Km/h に対する制動停止距離を計算すると $S = 32.1 \text{ m}$ となる。これに対し 70 Km/h のときのすべり摩擦係数は上述の二次式より計算して $f = 0.493$ としこれを従来の摩擦係数一定の方法で計算すると $S = 39.0 \text{ m}$ となる。速度減による摩擦係数の増加を考慮しない場合は、実際に近い二次相関式によって計算した場合に比べて約 7 m 、 21% 制動停止距離が長くなる。

(4) 制動停止距離計算法の実用性

すべり摩擦係数による制動停止距離の正確な計算方法についてのべたが、これらの計算例を表 3-2 に示す。表 3-2 によると摩擦係数を一定とした場合と、2 次式 (湿潤状態で) によって摩擦係数を変化させた場合とではその差は $5 \sim 20\%$ に達し、走行速度が大きいものほどその差は大きい。さらにこれを構造令の制動停止距離に比べると、構造令の方がはるかに大きいことが分る。したがって安全性を含めた道路構造上の制動停止距離 (視距) と、実際にブレーキをロックしたときの制動停止距離とはいくぶん区別して論ずる必要がある。

表3-2 各種の条件に対する制動停止距離

走行速度	道路構造令解説、湿潤状態の制動停止距離			
	摩擦係数 f	制動おくれの距離 $0.694V$	制動中の距離 $V^2/254f$	合計距離
70km/h	0.30	49 m	64 m	113 m
62	0.31	43	49	92
54	0.33	38	35	73
46	0.35	32	24	56
33	0.40	23	11	34
28	0.44	19	7	26
走行速度	普通コンクリート舗装、湿潤、20°Cの制動停止距離			
	摩擦係数 f	摩擦係数一定の制動停止距離 $V^2/254 \cdot f$	2次式を用いた制動停止距離	減少率
70km/h	0.49	39. m	321 m	18 %
60	0.54	262	219	16
40	0.65	97	84	13
20	0.81	19	18	5
走行速度	舗装面のすべり摩擦限界値を湿潤、60km/h、30°Cで0.4としたときの制動停止距離			
	摩擦係数 f	摩擦係数一定の制動停止距離 $V^2/254 \cdot f$	2次式を用いた制動停止距離	減少率
70km/h	0.36	53.6 m	419	22 %
60	0.40	354	281	20
40	0.51	124	104	16
20	0.66	24	21	13

またここで正確に計算するためにすべり摩擦係数を二次式によっているが、果して一回の制動中に速度に応じて摩擦係数がどのように変化するかはまだ明らかではない。しかし基本的には § 4.5 によって二次相関することは明らかである。湿潤状態にあるときは速度による摩擦係数の変化率は大きいので二次相関式によって計算すべきであるが、乾燥状態では速度による摩擦係数の変化率は小さいので、とくに二次式を用いる必要は少なく、摩擦係数一定とした従来の単純計算でもよいと考えられる。

〔2〕 縦すべり摩擦抵抗の左右の差⁵⁾

路面のすべり摩擦係数が場所によって異なる場合、当然自動車は左右のタイヤで異なる抵抗力を受けることになる。この場合の運動についてのべる。

(1) 前後方向の運動

(3 - 5) 式より

$$\begin{aligned}\alpha &= -f \cdot g \\ \therefore \frac{W}{g} \cdot \alpha &= \frac{W \cdot l_2}{2l} \cdot f_{f.l} + \frac{W \cdot l_2}{2l} \cdot f_{f.r} + \frac{W \cdot l_1}{2l} \cdot f_{r.l} + \frac{W \cdot l_1}{2l} \cdot f_{r.r} \\ &= \frac{W \cdot l_2}{2l} (f_{f.l} + f_{f.r}) + \frac{W \cdot l_1}{2l} (f_{r.l} + f_{r.r}) \dots\dots (3-34)\end{aligned}$$

ここで W は車の全重量、 f はすべり摩擦係数、 l は重心よりの距離であり、図 3-2 の通りである。(3 - 34) 式より車全体の前後方向の運動は、左右のすべり摩擦係数が異なる場合はその平均値のすべり摩擦係数が働いた場合と同様の運動を行なう。

(2) 左右方向の運動

左右のすべり摩擦係数が異なった場合でも、特に横方向の外力が作用しないかぎり、車両は左右方向の運動はしない。

(3) 回転運動

図 3-2 の状態に車両があるとした場合の、回転の釣合は次式の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 J_z \frac{d^2 \theta}{dt^2} &= f_{f.l} \frac{W \cdot l_2}{2l} \left(l_1 \sin \theta + \frac{w}{2} \cos \theta \right) + f_{f.r} \frac{W \cdot l_2}{2l} \left(l_1 \sin \theta - \frac{w}{2} \cos \theta \right) \\
 &\quad + f_{r.l} \cdot \frac{W \cdot l_1}{2l} \left(-l_2 \sin \theta + \frac{w}{2} \cos \theta \right) + \\
 &\quad f_{r.r} \frac{W \cdot l_1}{2l} \left(-l_2 \sin \theta - \frac{w}{2} \cos \theta \right) \dots\dots\dots (3-35)
 \end{aligned}$$

これを一度積分すると

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{J_z}{2} \right) \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 &= f_{f.l} \cdot \frac{W \cdot l_2}{2l} \left(-l_1 \cos \theta + \frac{w}{2} \sin \theta \right) + \\
 f_{f.r} \cdot \frac{W \cdot l_2}{2l} \left(-l_1 \cos \theta - \frac{w}{2} \sin \theta \right) &+ f_{r.l} \cdot \frac{W \cdot l_1}{2l} \left(l_2 \cos \theta + \frac{w}{2} \sin \theta \right) \\
 + f_{r.r} \cdot \frac{W \cdot l_1}{2l} \left(l_2 \cos \theta - \frac{w}{2} \sin \theta \right) &+ C
 \end{aligned}$$

$t=0$ のとき、 $\theta=0$ 、 $d\theta/dt=0$ とおく

$$\begin{aligned}
 C &= f_{f.l} \cdot \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} + f_{f.r} \cdot \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} - f_{r.l} \cdot \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} - f_{r.r} \cdot \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} \\
 &= \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} (f_{f.l} + f_{f.r} - f_{r.l} - f_{r.r}) \dots\dots\dots (3-36)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \frac{d\theta}{dt} &= \sqrt{\frac{2}{J_z} \left\{ f_{f.l} \cdot \frac{W \cdot l_2}{2l} \left(-l_1 \cos \theta + \frac{w}{2} \sin \theta \right) + f_{f.r} \cdot \frac{W \cdot l_2}{2l} \left(-l_1 \cos \theta - \frac{w}{2} \sin \theta \right) \right.} \\
 &\quad \left. + f_{r.l} \cdot \frac{W \cdot l_1}{2l} \left(l_2 \cos \theta + \frac{w}{2} \sin \theta \right) + f_{r.r} \cdot \frac{W \cdot l_1}{2l} \left(l_2 \cos \theta - \frac{w}{2} \sin \theta \right) \right.} \\
 &\quad \left. + \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} (f_{f.l} + f_{f.r} - f_{r.l} - f_{r.r}) \right\} \dots\dots\dots (3-37)
 \end{aligned}$$

(3-37) 式の $\sqrt{\quad}$ の中を X でおきかえると

$$t = \int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{X}} \quad (3-38)$$

X を変形すると次のようになる。

$$\begin{aligned} X = & \frac{2}{J_z} \left\{ \frac{W \cdot l_1 \cdot l_2}{2l} \cos \theta (-f_{f.l} - f_{f.r} + f_{r.l} + f_{r.r}) \right. \\ & + \frac{W}{2l} \cdot \frac{w}{2} \sin \theta (f_{f.l} l_2 - f_{f.r} l_2 + f_{r.l} l_1 - f_{r.r} l_1) \\ & \left. + \frac{W l_1 l_2}{2l} (f_{f.l} + f_{f.r} - f_{r.l} - f_{r.r}) \right\} \end{aligned}$$

道路上で左右の摩擦係数はことなるが、前後は同じであるとする

$f_{f.l} + f_{f.r} - f_{r.l} - f_{r.r} = 0$ となる。したがって (3-38) 式は

$$\begin{aligned} t &= \int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{\frac{2}{J_z} \cdot \frac{W}{2l} \cdot \frac{w}{2} \sin \theta (f_{f.l} l_2 - f_{f.r} l_2 + f_{r.l} l_1 - f_{r.r} l_1)}} \\ t &= \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{J_z} \cdot \frac{W}{2l} \cdot \frac{w}{2} (f_{f.l} l_2 - f_{f.r} l_2 + f_{r.l} l_1 - f_{r.r} l_1)}} \\ & \int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{\sin \theta}} \quad (3-39) \end{aligned}$$

(3-39) 式を実際のトラックおよび乗用車について計算したものが図3-39である。左右のすべり摩擦係数の差が0.15 (約30%) の場合、乗用車では、1.5秒程度で15°回転することになるが、トラックでは2.2秒で15°回転することになる。60 km/h で走行した場合の制動停止時間は3秒程度であるので、完全に停止するまでには乗用車で30°以上、トラックで25°程度回転することになる。

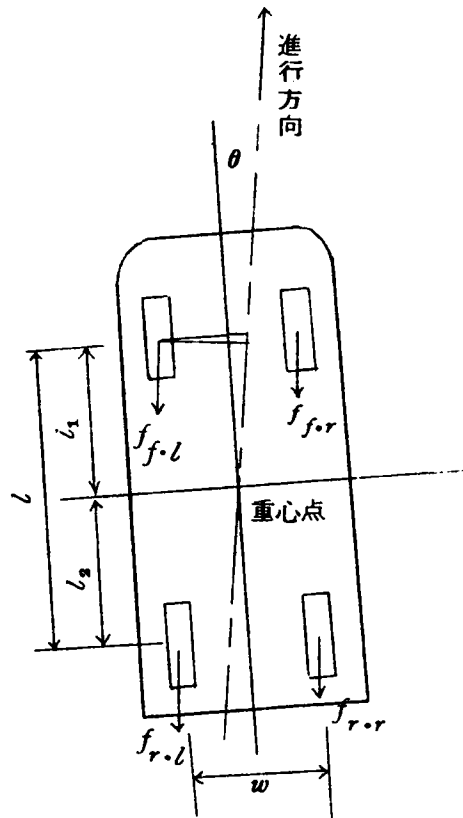
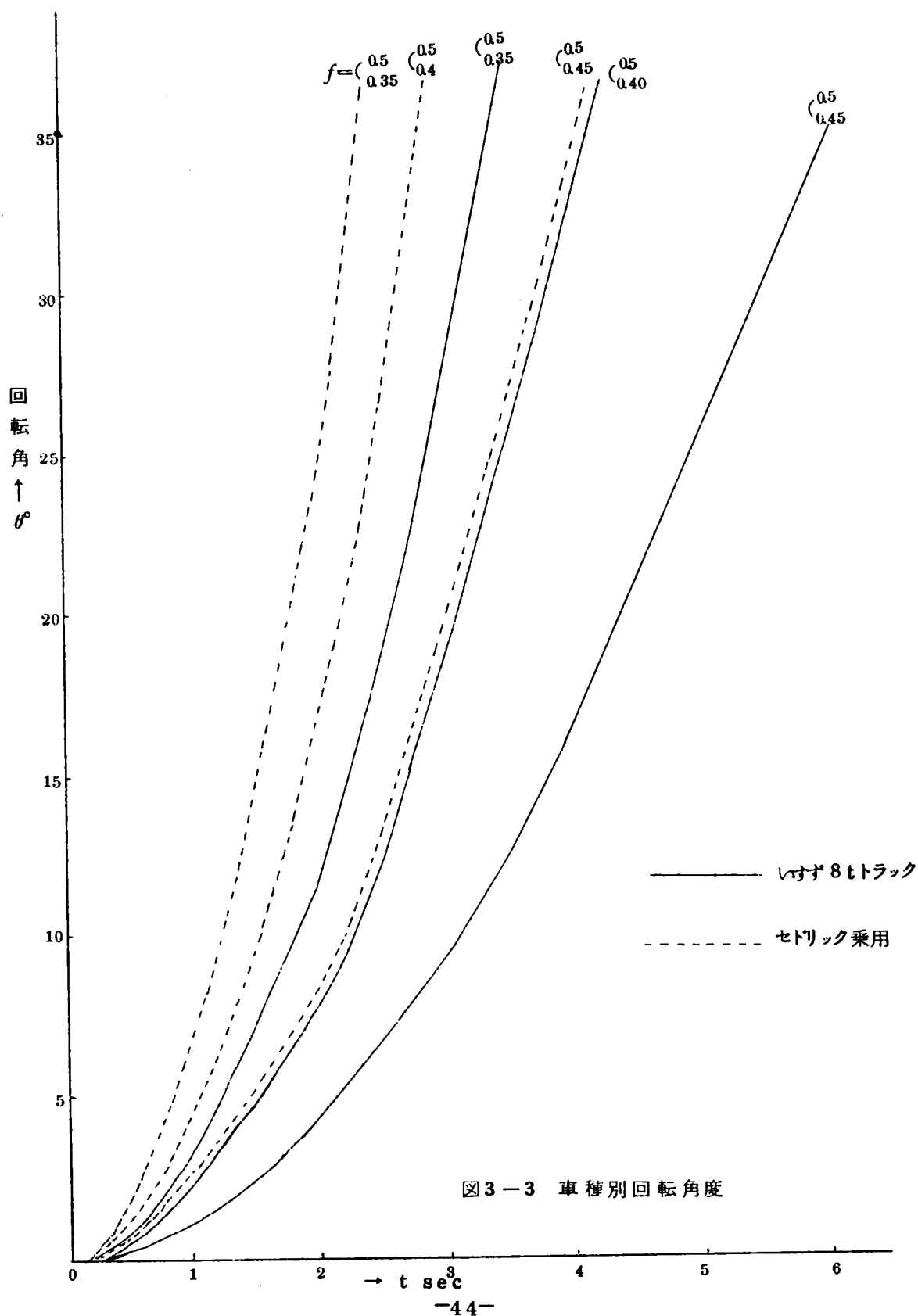


図3-2 左右のすべり摩擦係数が
ことなる場合の車の運動

これら道路上のすべり摩擦係数の左右の差を測定することはなかなか困難であるが、今までにえられた実測値を中心にして解析すると次のようになる。

コンクリート舗装面の左右の差はいずれの舗装についてもあまり見られない。特殊なものを除いて左右の差は5%以内である。5%程度の差は建設した時のばらつきおよび測定の誤差範囲内と考えられる。

アスファルト舗装面ではいろいろの問題があるようである。まず首都高速道路については、建設直後には左右の差は表われていないが(別表2-4)、通行開始より一年後の測定(別表2-7)では右側が全体的に小さくなっている。その差は10~30%、平均20%程度の差がでている。舗装直後に差がないのは大宮~吹上間(別表3-13)でも同様である。17号線の岡部町の試験舗装(別表2-8)はあまり左右の差は表われていないが、全体



的にはいくぶん右側が小さい。千葉市宮野木の簡易試験舗装（別表 2-13）では左側が大きくなったり、右側が大きくなったりして非常にばらばらになっている。簡易舗装のために舗装面が均一でないことをよく表わしている。名阪国道のものは交通開始後、あまり経過していないので左右の差は小さく、大体 10% 以内である。次に土木研究所のアスファルト試験走路であるが、数多くの測定のいずれも大した左右の差はなく、大体 5% 以内である。これは走行車両が少ないために、車両による研磨圧密が少なく、気象による風化が均等に行なわれているため^だと考えられる。東京都内の道路のように巾員が広く、車線区分が明瞭でなくて、車両が比較的自由に走行している所ではやはり左右の差は見られない。ただ 4 号線の東京都内では（別表 3-3）場所的なばらつきが大きく、とくに摩擦係数の低下した所で大きく 30% に達している。これが事故の原因となっていると考えられる。曲線部分は直線部分に比べて右側が小さい（別表 3-4）。これは曲線部ではやはり多くの車両が中央部を走行するためと考えられる。

これらを総合するとコンクリート舗装では左右の差はあまりない。アスファルト舗装では、まず舗装直後は左右の差はないが、走行車両による研磨圧密が影響するので路面上で左右の踏み回数に差のあるような所では年月の経過と共に差が大きくなる。余裕のある車線区分道路とか、地方部往復 2 車線道路で中央線のない所、曲線区間等で差が大きい。反対に余裕のない車線区分道路とか、広巾員で自由に走れる道路、交通のとくに少ない道路では差は少ない。

左右の差は 5% 程度までは建設および測定のばらつきと考えられる。アスファルト舗装の場合走行車の影響をうけて 10% 程度までは止むをえないようである。20% の差が表われているような道路は一部に限定されており、他の原因と重なって事故を起す危険があるので注意を要する。30% の差が表われている地点はそれのみでも事故に関連しているようである。

§ 3.3 曲線部走行とすべり

〔1〕 曲線部走行時の釣合い

質量 m の自動車が半径 R の曲線部を速度 V で走行する場合には、自動車は mV^2/R なる遠心力をうける。これに対してタイヤと路面の間の横すべり摩擦係数を f とするとタイヤに $mf g$ なる横すべり摩擦抵抗が働いて釣合って走行することができる。遠心力がさらに大きくなって $mf g$ より大きい場合には横方向にすべり始める。曲線半径の小さい部分には普通横断片勾配 i を付けており、その勾配のために img なる横方向力が働くことになる。このとき $(i+f) \geq V^2/gR$ の間は走行中遠心力による横すべりは起らず安全である。しかしこの場合の f は最大横すべり摩擦係数であって、横すべり角の小さい値に対する横すべり摩擦係数ではない。

実際に曲線部走行中は速度および半径に応じた遠心力から片勾配による横力を差引いただけの横力が働らくことになり、この力に対応する横すべり角だけの横すべりは起っていることになる。普通の走行状態ではこの横力は $0 \sim 0.15 g$ (最大 $0.25 g$) 程度であり、それに⁴⁾ 応じた横すべり角は § 4.6 より $0 \sim 3^\circ$ 程度である。横すべりを起していない普通の走行状態であっても自動車は上述のように $0 \sim 3^\circ$ 程度外方に向ってすべりながら前進することになる。しかしこれは運転手はその角度だけ内方にハンドルを切ることによって容易に補正され、実際にはあまりすべっていることも感じないのである。したがって合成横力が最大横すべり摩擦抵抗より大きくなったとき始めて危険であり、横すべりすることになる。この最大横すべり摩擦係数値はほぼ縦すべり摩擦係数値と等しく、湿潤で $0.4 \sim 0.6$ 程度である。一方曲線部走行中の自動車の横力(遠心力から片勾配を差引いたもの)は走行の快適性の面から 0.15 程度に制限されているため、路面の最大横すべり摩擦係数が冰雪その他特殊の事情によって 0.15 以下におちないかぎり走行上は安全である。

〔 2 〕 走行中制動した場合

曲線部を走行中に制動した場合自動車は切線方向にすべることは明らかである。

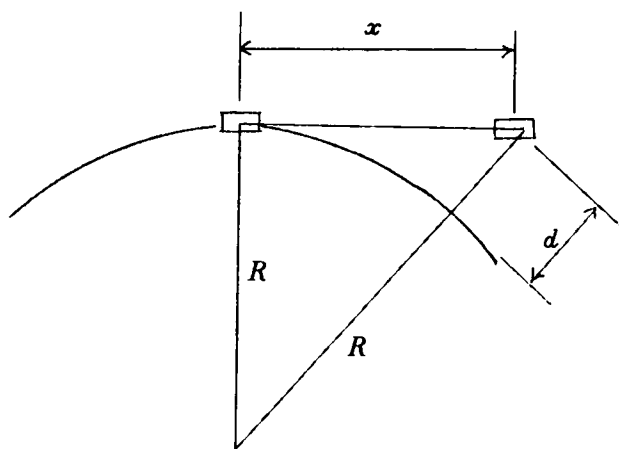


図 3-4 曲線部の偏走

この場合自動車の回転角速度はかなり小さいので一応無視すると図 3-4 の通りとなる。図において制動停止距離 x は単純には $V^2/2g \cdot f$ で表わされる。横断勾配はないものとしてスリップした車が走行車線の中心からはずれる距離 d は次の通りである。

$$d = \sqrt{R^2 + x^2} - R = \sqrt{R^2 + \frac{V^4}{4g^2 f^2}} - R \quad (3-40)$$

これを 40 Km/h および 60 Km/h について計算してみると表 3-3 の通りとなる。普通の状態ではこの偏走距離は車線巾 (3.0 m) に比してそれ程

表 3-3 曲線部での制動による偏走距離

半径 半 径	摩擦 係 数	0.25 (特にすべりやすい路面)		0.5 (普通路面)	
		40 Km/h	60	40	60
55m		5.5	—	1.4	—
100		3.1	15.0	0.8	3.9
200		1.6	7.9	0.4	2.0
300		1.1	5.3	0.3	1.3
400		0.8	4.0	0.2	1.0

大きくないが、摩擦係数がとくに小さくなったとき、半径の小さいときおよび走行速度が大きいときには大きくなる。一方直線路の横断勾配に原因する偏走は加藤氏の⁶⁾解によると勾配に原因する偏走を、進行方向 (X 方向) と横断方向

(Y方向)に分け、X方向に対する抵抗係数をC、Y方向に対する抵抗係数をKとし、 $C:K = dX/dt : dY/dt$ 、 $C^2 + K^2 = 1$ 、タイヤの主すべり摩擦係数をf、横断勾配をiとすると

$$Y = \frac{1}{2} i g t^2 - \frac{i f}{(i^2 + f^2)^{\frac{3}{2}}} \left[\frac{1}{2} (i^2 + f^2) g t^2 - V \{ f + (i^2 + f^2)^{\frac{1}{2}} \} t \right] \\ - \frac{i f^2 V}{(i^2 + f^2)^{\frac{3}{2}}} \left\{ \left[\log_e \{ (i^2 + f^2) g \cdot t - f \cdot V \} \right] \left[t - \frac{f V}{(i^2 + f^2) g} \right] \right. \\ \left. - t \log_e \{ V (i^2 + f^2)^{\frac{1}{2}} - f^2 V \} \right\} \dots\dots\dots (3-41)$$

$$t = \frac{f V \{ f + (i^2 + f^2)^{\frac{1}{2}} \} + f^2 V + f V (i^2 + f^2)^{\frac{1}{2}}}{(i^2 + f^2) \{ f + 2 f^2 V + (i^2 + f^2)^{\frac{1}{2}} \} g} \dots\dots\dots (3-42)$$

となっている。(3-41)式の計算結果の一例は図3-5の通りである。(3-40)式のdから(3-41)式のYを引いたものが実際に偏走する長さになる。Yの値はかなり大きく、実際の道路上では(d-Y)はほとんど0になる。

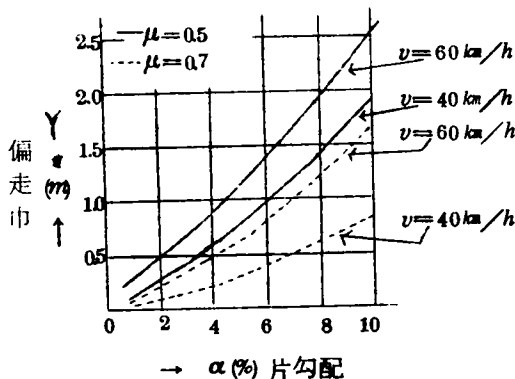


図3-5 横断勾配と偏走

さきの計算において横断方向のすべり摩擦係数をKfとして考えたが、一方タイヤが回転しているときの最大横すべり摩擦係数はほぼfに等しい。したがって一般に $Kf \ll f$ である。この関係を実測したのが図3-6、図3-7、図3-8である。この実験では測定車は進行方向に進みながら、測定輪のみを θ° だけ傾け、その状況で制動した場合と制動しない場合の抵抗を記録した。

ペンオツシロの記録は図3-7の通りである。これよりタイヤ方向およびタイヤに直角方向の摩擦係数を計算すると図3-8の通りとなる。ここで制動時の横抵抗係数Kfは回転時の横抵抗係数fに比してはるかに小さいことが

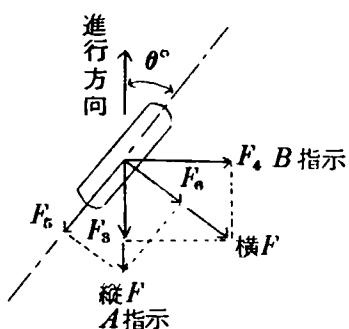


図3-6 測定状態

わかる。

すなわち制動時（ロック）には自動車は小さい横力をうけても容易に偏走することを表わしている。曲線部を走行中制動した場合事故を起しやすいのはこの原因による。

§ 3.4 路側のすべり抵抗と走行の安全性

道路には走行の安全のために路肩巾がとられている。その状況は道路の種類によ

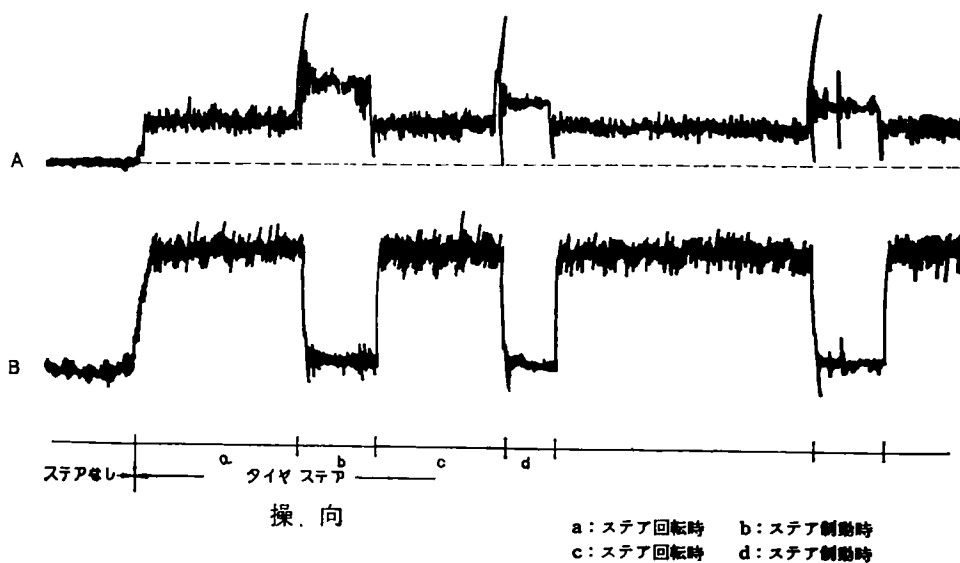


図3-7 測定記録

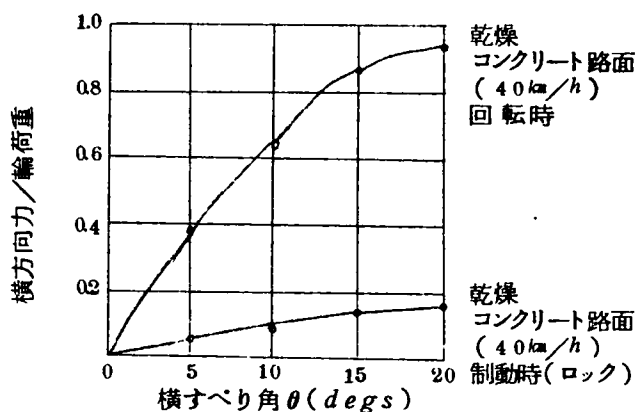


図3-8 横すべり角と横方向力

ってことなり、高級道路の場合この巾は大きく、低規格の道路では小さい。普通この余裕は走行中の側方余裕と、道路側方の見通しのためであると考えられている。しかしその外にもし何等かの原因で自動車⁸⁾⁹⁾が側方に偏走した場合の安全性^のためにも役立つのである。統計資料によると自動車が逸脱する角度は道路方向に対してほとんど $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ であって、 15° が最も多い。すなわち自動車は 15° の角度で路肩部分を通過する間に路側部表面のすべり抵抗によって減速されるのである。

路側余裕巾を w 、偏走角を 15° とすると路側部分の走行距離は $S = w / \sin 15^{\circ}$ となる。一方すべった場合の速度と距離の関係は $S = (V_0^2 - V^2) / 2 g \cdot f$ である。したがって路側部分をすべって路側端に達したときの速度は次の通り

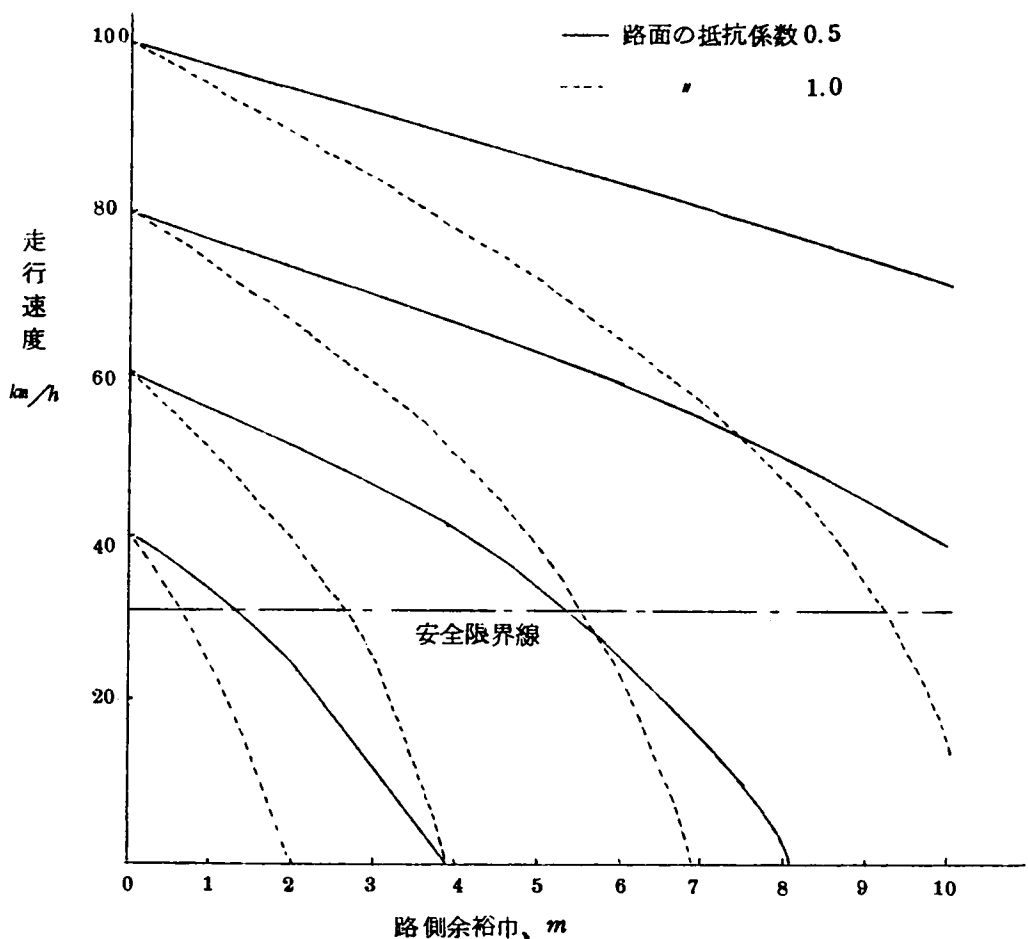


図3-9 路側余裕巾と速度の関係(偏走角 15°)

である。

$$V = \sqrt{V_0^2 - \frac{2 \cdot g \cdot f \cdot w}{\sin 15^\circ}} \dots\dots\dots (3-43)$$

(3-43)の計算例は図3-9の通りである。図において安全限界線とは、この速度で自動車障害物等に衝突した場合乗員は負傷はするが死亡にはいたらない大体の限界線であって、自動車の設計技術者が一応の目標としているものである。この図からも明らかなように路側の制動効果はかなり大きく、とくに路側表面のすべり摩擦係数を大きくした場合その効果は非常に顕著であって、道路の規格に応じて十分安全な構造とすることは可能である。さらに実際の道路では余裕巾と同時に片勾配を付し、しかも残留する速度に対し適切な防護柵を設置するならば道路に対する走行の安全性を定量的に確保することができると考えられる。この意味で今後の路側余裕巾部分の構造についてはすべり摩擦抵抗を十分検討して設置すべきである。

§ 3.5 結 語

車道および路側を含めた道路表面のすべり摩擦係数は道路走行に密接な関係にあり、すべり摩擦係数に応じた減速度および制動停止距離を正確に把握しておくことが必要である。

まず直線走行時のすべり摩擦係数と制動停止距離の関係は、今までは一般に摩擦係数は制動中一定とした簡単な計算によっていたが、ここではさらに速度と摩擦係数が一次相関の場合と、二次相関の場合について計算しその結果一次相関の場合(3-20)式、二次相関の場合(3-32)式によるべきであることが明らかになった。これらを正確な計算によった場合と簡易計算によった場合との差は5~20%に達し、速度の大きい場合および摩擦係数の小さい場合にその差は大きい。一般に湿潤時の制動停止距離については二次相関式によって計算すべきであるが、乾燥時の制動停止距離については従来の簡易計算でもよい。

制動停止距離に対する空気抵抗の影響はすべり摩擦抵抗に比してはるかに小さいので一般に無視してよいが、100 Km/h以上の速度になると考慮する必要がある。

つぎにすべり摩擦係数の左右の差と車の回転については、計算結果および実験を総合すると、車両構造によって影響は異なるが、一般に左右係数値の差が20～30%（0.1～0.15）に達すると、完全停止までに車は20°以上回転し、危険であることが明らかになった。

さらに曲線部の走行については主として横すべり摩擦係数と偏走の関係が問題になる。タイヤが回転しているときの横すべり摩擦係数は、縦すべり摩擦係数とほぼ等しく、曲線走行時に必要な遠心力に比してかなり大きく、安全走行上問題はない。しかしタイヤを制動してロックした場合には、進行の主方向に対するすべり抵抗が働き、横方向にはその分力が働くようになる。この横方向分力は回転時の横すべり抵抗力に比してはるかに小さく、曲線部走行中偏走しやすい原因となっている。したがって曲線部では十分な片勾配をつける必要がある。

最後に路側部のすべり抵抗はややもすれば無視されがちであるが、偏走車に対する減速および制動停止距離の短縮のために大きい効果を発揮し、道路の規格に応じて適当な表面のすべり摩擦係数と巾員を与えれば、完全に安全性を確保することができる。今後の道路構造の計画に当っては定量的な安全性を確保するために路側のすべり摩擦と巾員の関係を検討すべきである。

参 考 文 献

- 1) 米谷・渡辺・毛利著「交通工学」国民科学社、1965。
- 2) 伊吹山四郎編著「道路交通工学」金原出版社、1964。
- 3) 市原薫「すべり摩擦係数による制動停止距離の算定」土木技術資料8巻11号6～頁1966。
- 4) 高野務著「道路構造令解説」、日本道路協会、1965。
- 5) 市原薫「路面のすべり摩擦係数と事故との関係」交通工学1巻4号 21～頁、1966。
- 6) 加藤晃・小野弘「道路に原因するスリップ事故の理論解析」第6回日本道路会議論文集 678～頁、1961。
- 7) 市原薫「タイヤの制動時の横方向すべりと道路構造」土木技術資料7巻10号 12～頁、1965。
- 8) 枝村俊郎「防護柵の設置基準と設計荷重合理化のための統計的調査報告」土木研究所資料、1964。
- 9) 枝村俊郎「ガードフェンスの最適設計」土木技術資料8巻10号 22～頁、1966。

第4章 路面のすべり抵抗

§ 4.1 概 説

路面のすべり摩擦係数を論ずるに当たっては、まずすべり摩擦係数が諸種の外的要因によっていかに変化するかを明らかにしなければならない。同一路面であっても測定条件に応じて広い範囲でえられる係数は変化する。測定条件を統一した上でしかもなお問題となるのは温度および速度の影響である。従来路面のすべり摩擦係数の検討に当り、温度および速度の影響の定量的な把握がなされていなかったのも、ややもすればすべり摩擦係数はつかみ所の無いもののように思われていた。本論文においてはこの点について、長期実測値を中心にして論じ、標準換算式を見出した。

これら路面のすべりに対する基準を決定した上で、さらに道路の幾何構造および実際の運転状態、さらにこれらを総合する意味で現在各地で生じている事故とすべり摩擦係数の関係を調査した上で、限界すべり摩擦係数値を決定した。わが国では現在すべり摩擦係数の限界値は決定していないが、本研究の結果一般部で0.4、特殊部（重要な所）で0.45以上とすべきであると考えられる。

§ 4.2 主要な路面のすべり摩擦係数

路面のすべり摩擦を論ずるに当たって、まず実測値の概要についてのべる。別表1～別表5は本研究に当たっての実測からえられた数値である。もちろん全体の解析のためには、これ以外の国内および諸外国の測定資料も利用するが、それはそのつどのべることとし、わが国の道路面のすべり摩擦の概要は本測定を中心のべる。

〔1〕 コンクリート舗装のすべり摩擦

(1) 一般のコンクリート舗装面

コンクリート舗装のすべり摩擦係数は主として別表1に示されているが、その外別表2～別表4の中にも特殊な状態のものが示されている。別表1に

よるとコンクリート舗装面のすべり摩擦係数は大体 1.0 ～ 0.5、主として 0.8 ～ 0.6 の範囲にある。乾燥状態のものに比べて湿潤状態のものは常に小さい。また高速で測定したものは、低速で測定したものより小さい値となっている。これらは第 2 章でのべたすべり摩擦の一般論と合致している。湿潤状態での摩擦係数の低下の割合は低速 (10 ～ 20 Km/h) のときには小さいが、高速になると大きくなる。外気温および路面温度との関係を見ると、温度が高いときの方が摩擦係数は小さいようである。最も摩擦係数が大きいのは別表 1-4 および別表 1-5 であって、冬季のコンクリート舗装面である。この中でも走行速度の小さいものが最大値 1.0 程度になっている。反対に最も摩擦係数の小さいのは別表 1-1、別表 1-8 であって、夏季のコンクリート舗装面である。もちろんこの中で走行速度が大きく、湿潤のものが最小値で 0.4 程度になっている。別表 1-4 ～ 別表 1-8 は土木研究所の試験道路上のほぼ一定したコンクリート舗装面を、約 2 年間にわたって、同じ測定要領で測定したものであって、その数値は広い範囲にわたっている。路面のすべり摩擦係数は測定条件によって大きく変化するので、路面のすべりを論ずる場合には、条件を同一にしなければならないことを表わしている。別表 4-2、別表 4-3 は山梨県の山中湖畔沿のコンクリート舗装のすべり摩擦係数である。これらは冬期間のすべり摩擦測定のためにえられた値であるが、外気温および路面温度が 0℃ 以下の場合にはすべり摩擦係数は非常に大きくなることを明示している。

(2) トンネル内のコンクリート舗装面

別表 2-4 ～ 別表 2-7 は首都高速道路のすべり摩擦係数であるが、この中に千代田トンネル内のコンクリート舗装のものが示されている。別表 2-4 は 7 月末の通行開始直前の測定値であるが、レイタンス、じんあい、高温の 3 条件が重なったためか 0.3 という非常に小さい値を示している。別表 2-5 では通行車両のためじんあいが除去され、レイタンスも一部取り去られたためか 0.5 と良好になっている。別表 2-6 は 4 月の測定で路面温度も低いためさらに摩擦係数は大きくなり 0.6 ～ 0.7 と良好である。しかし別表 2-7、別表 3-10 では非常に小さくなり最小値は 0.2 になった。このときは首都高速道路公団でも路面が急にすべり易くなったことを問題にし、千代田

トンネル内の上り合流点では、すべりによる事故をたびたび起したのである。この原因はもちろん路面温度も一部関係しているが、別表1を参考としても30℃程度で0.2になるとは考えられず、外に原因があることは明らかである。現地を調査した結果では、トンネル内の漏水により、常に舗装面が湿潤に保たれており、またこの部分は2階式トンネル構造であって、側壁、天井共に厚いコンクリート層で作られており、漏水がこの厚いコンクリート層を通過する時にコンクリート中に遊離しているカルシウム分を溶解して路面上に沈澱させていたことが明らかになった。そしてこの沈澱したカルシウム分を、走行車両が薄く平坦に敷広げる作用をした結果、舗装面はツルツルになって、非常にすべりやすくなったものである。これらの状況を図4-1～図4-6に示す。首都高速道路公団では、この対策として(A)比較的沈澱物の少ない所に対しては塩酸を50Kg/100m²程度散布して洗い流す。(B)沈澱物の多い所はエポキシ樹脂下塗 0.5 Kg/m² 上塗 1.3 Kg/m² を行ない、エメリー（径2.5mm以下）を5 Kg/m² 散布接着させた。また比較のために(C)エポキシ樹脂下塗 0.5 Kg/m² 上塗 1.3 Kg/m² を行ないエメリー（径2.5mm以下）およびシノパール（径5.0～2.5mm）を60%：40%の比率で混合散布し接着させたものを作った。施工後のすべり摩擦係数の測定値は別表3-11の通りである。塩酸で洗った面は、他の良好なコンクリート舗装面と同じ係数値0.5となった。エメリー接着面は良好なコンクリート舗装面よりさらに良好で、湿潤時50Km/hで摩擦係数は0.8という



図4-1 もっともすべりやすい区間

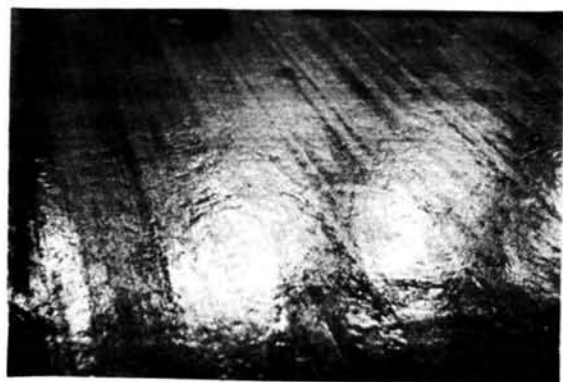


図4-2 もっともすべりやすい区間（天井から漏水が落ちて舗装面に沈澱を生じる）



図4-3 もっともすべりやすい区間(割れ目から地下水が出て舗装面に沈澱を生じる)

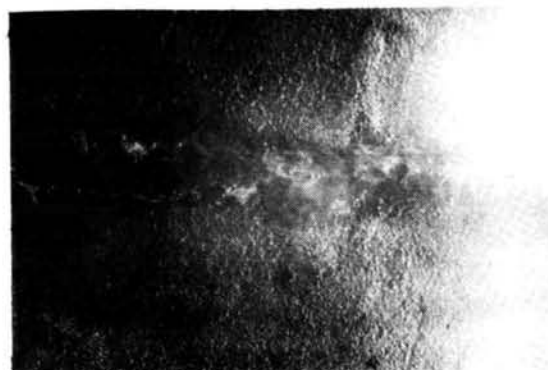


図4-4 天井にも漏水から沈澱物がたれ下っている



図4-5 天井にたれ下った沈澱物

非常によい状態になった。エメリー単独のものと、エメリーとシノパールを混合使用したものの差はほとんどないが、わずかにエメリー単独使用のものが良好である。しかしエメリーとシノパールの影響の差は、あるていど時日を経過して骨材が摩耗した後でないと明らかでない。すべり止を施工した路面の状況を図4-7～図4-9に示す。

以上のようにトンネル内のコンクリート舗装で漏水のある所では特に注意をはらわねばならない。

別表2-15は名阪国道のすべり摩擦係数であり、この中に関トンネルおよび加太トンネル内のコンクリート舗装面のすべり摩擦係数が示されている。共に乾燥状態での係数は十分大き



図4-6 比較的良好な区間

いが、湿潤状態のものはやや小さい。一般にコンクリート舗装はトンネル内のものがすべりやすいので注意を要する。

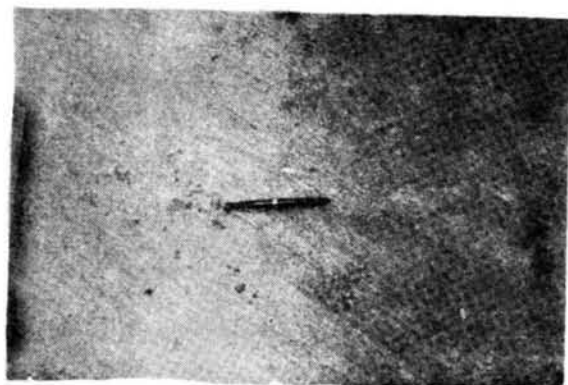


図 4-7 塩酸で洗った後のコンクリート面

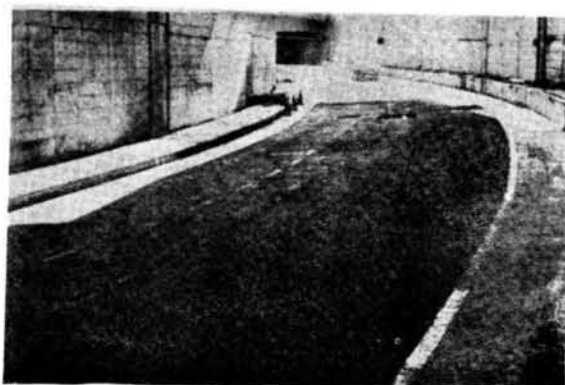


図 4-8 B型(エメリー)舗装

〔2〕 アスファルト舗装のすべり摩擦

各種のアスファルト舗装のすべり摩擦係数を別表 2-1～別表 2-26 に示した。アスファルト舗装は一般にコンクリート舗装に比べて摩擦係数は小さいように考えられがちであるが、最近の良好に施工されたアス

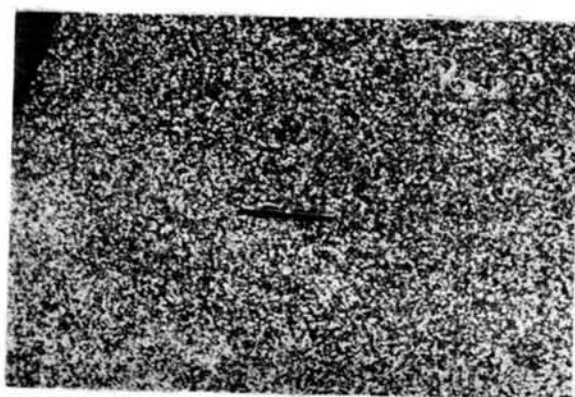


図 4-9 C型(エメリー+シリカ)舗装

ファルト舗装はコンクリート舗装と同等か、またはそれ以上に大きい摩擦係数を持っている。ただアスファルトの部分は表面が平滑でヒステリシス損失による摩擦抵抗がないから、湿潤状態で付着剪断抵抗がなくなった場合総合的な摩擦抵抗は非常に小さくなる。このような理由でフラッシュしたり、シーラコート層を作って十分に骨材を圧入しないような舗装では特別に摩擦係数が小さくなる。またアスファルトの配合率の多い混合物も比較的すべり摩擦係数は小さい。

別表 2-1～別表 2-3 および別表 2-26 は名神高速道路の摩擦係数である。夏季に小さく、冬季に大きいのはコンクリート舗装の場合と同様である。冬季最大値は 1.1 であり、夏季最小値は 0.45 になっている。

首都高速道路の摩擦係数を別表 2-4～別表 2-7 に示す。乾湿、温度、速度の影響については他のものと同様である。別表 2-6 から 4 月の最大値は 0.9 (冬季 1 月または 2 月に測定すれば 1.0 程度はえられたと思う) であるが、別表 2-7 の夏季の最小値は 0.37 であり 0.4 より小さい所があるのはよくない。舗装の種類による差は表われていない。

別表 2-8～別表 2-12 は国道 17 号線の岡部町の試験舗装の摩擦係数である。舗装の種類は別表 2-8 に表わしてある通り、多種多様 (密粒アスコン、トベカ、アスファルト 5.0～10.15%、ファイラー 6.0～10.0%、碎石、玉砕の組合わせ) であるが、摩擦係数にはあまり差がない。摩擦係数の差は舗装の種類によるもの (最大 20%) よりも季節別の差の方 (平均 40%) がはるかに大きくなっている。表中 №24 (トベカ・アスファルト量 10%) は一番摩擦係数が小さい。次いで №13 (密粒アスコン・アスファルト 5.9%) №14 (トベカ・アスファルト 8.15%) №15 (トベカ・アスファルト 8.75%) が少し小さいようである。これらはいずれもアスファルト量の多いものであり、アスファルトの配合率 (空隙および比表面積を考慮した上で) の多いものがすべりやすくなる。№3～№6 はいわゆるゴム混入アスファルトである。ゴムを混入したために、とくに摩擦係数が大きくなった状況は見られない。

簡易舗装の試験舗装での測定値は別表 2-13 である。この中でとくに摩擦係数が小さくなっているのは $SAM(A)$ が 5.0 km/h、湿潤路面の平均値で 0.19 となり、 $AEI(B)$ が同じ状態で平均 0.36 となっている。共にアスファルトの使用量が多く、シーラコートも 1 l/m² 以上散布している。現地を見てもフラッシュしたあとは十分認められる。反対に摩擦係数が大きいのはデックシーラの 0.72 および $SAM(B)$ の 0.70 であって $SAM(B)$ はシーラコートのないものである。現地を見てもフラッシュのない比較的スムーズな表面が摩擦係数は大きいようである。

第 3 京浜道路、名阪国道の摩擦係数は別表 2-14、別表 2-25、別表 2-15 に示してある。第 3 京浜の湿潤時の摩擦係数が 0.4 より小さいのはよくない。実際にも雨降り時ときどきスリップ事故を起している。名阪国道のものは普通程度である。

土木研究所の試験走路のアスファルト舗装のすべり摩擦係数を別表 2-16 ~ 別表 2-24 に示す。乾湿、走行速度、温度の影響の傾向はこれまでのべたものと同様であるが、高速道路等に比べて全体的に摩擦係数は大きい。

60Km/h 湿潤で最大値 0.74 最小値 0.65 である。これは一般道路に比べて走行台数が非常に少なく、走行車によって表面が研摩されたり、アスファルト合材が圧密されることがないためと思われる。

別表 3 にも各種のアスファルト舗装のすべり摩擦係数を示しているが、良好なアスファルト舗装の摩擦係数は夏季、湿潤、60Km/h で 0.6 程度であり、普通程度で 0.55~0.5 が多い。条件（アスファルト量、骨材質）の悪いものでも 0.45 以上はある。

これらを総合すると、いわゆる高級道路のアスファルト舗装のすべり摩擦係数は夏季、湿潤面で 0.45 程度まではやむをえないと思われる。しかし 0.4 より小さくなるような路面ではやはりすべりに原因する事故の問題が生じている。

〔3〕 すべり止め舗装の効果

(1) すべり止め舗装工法と効果

近時交通事故の増大と共にすべり止め舗装が大きく取り上げられ、全国いたる所にすべり止め舗装と称するものが施工されるようになった。これらの舗装の摩擦係数を実際に測定した結果が別表 3 である。別表 3-1 は 4 号線の福島、盛岡間の主要すべり止め舗装と、その前後に接した普通の密粒アスコンとの比較測定である。湿潤状態のデータがないので十分ではないが、測定 7 カ所のうち花巻市と福島市の舗装は 0.76 : 0.63、および 0.84 : 0.62 とすべり止め舗装に対して密粒アスコンが小さくなっている。しかし他の 5 カ所は全然差が見られない。そして差の表われている花巻市と福島市の舗装はすべり止めの効果があったというよりも、密粒アスコンの摩擦係数がとくに小さいようである。良好に施工された普通アスコンはいわゆるすべり止め舗装に比べてなんら差のないことが分る。

甲府市内 20 号線ですべり止め舗装の比較試験を行なった結果を別表 3-2 に示す。トベカ、ストレートアスファルト、ガムファルト、ポリベープ、*B* A セメント、いずれの舗装も同じ数値であって湿潤 50Km/h で約 0.65

となっている。この場合もすべり止め舗装の効果はとくに表われていない。しかし路面温度 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$ を考慮すると湿潤、 50Km/h で 0.65 という摩擦係数は良好であり、トベカおよびストレートアスファルトによる舗装がすべり対策上良好に施工されていることを示す。

17号線三国峠北側で施工したすべり止め舗装の比較試験結果を別表3-6、別表3-7に示す。この場合摩擦係数はトベカ、密粒アスコン、ギャップ型アスコンとわずかながら順次大きくなっているが、密粒アスコンとギャップ型の差はほとんどないと言ってよい。しかも全体的に摩擦係数は小さく、トベカ、密粒アスコンの施工がすべり対策上良好ではないと思われる。

首都高速道路の摩擦係数は別表2-4、別表2-6、別表2-7にある。表においてオープングレイド、グースアスファルトおよび密粒アスコンの三者を比較すると、いずれの場合にもオープングレイドと密粒アスコンの差はほとんどない。グースアスファルトは逆に湿潤状態では $0.37 \sim 0.39$ と小さくなっている。アスファルト混入量が多いので考えられることであるが、なお今後十分検討する必要がある。別表3-10、別表3-11は〔1〕コンクリート舗装のすべり摩擦、の所で説明したが、高級すべり止め舗装の効果を測定したものである。

別表3-10は千代田トンネル内のすべり止め工を行なわない前の摩擦係数で $0.5 \sim 0.18$ となっており、大部分が $0.3 \sim 0.2$ で非常に危険な状態にある。別表3-11はその地点をすべり止め工を行なった後の摩擦係数である。A種対策（塩酸 $50\text{Kg}/100\text{m}^2$ 散布して洗い流す）を行った所は平均 $0.59 \sim 0.52$ と良好な状態となっている。B種対策（エポキシ樹脂下塗 $0.5\text{Kg}/\text{m}^2$ 上塗 $1.3\text{Kg}/\text{m}^2$ エメリー径 25mm 以下のものを $5\text{Kg}/\text{m}^2$ 散布接着）の結果は $0.86 \sim 0.84$ と非常に良好になっている。C種対策（エポキシ樹脂下塗 $0.5\text{Kg}/\text{m}^2$ 、上塗 $1.3\text{Kg}/\text{m}^2$ 、エメリー径 25mm とシノパール $50 \sim 25\text{mm}$ を $60\%:40\%$ に混合し $5\text{Kg}/\text{m}^2$ 散布接着）の結果も $0.81 \sim 0.77$ と良好である。別表3-32～別表3-35は骨材接着工法を主としたすべり止め舗装の調査結果である。混合式のものはやや摩擦係数が小さいが、骨材接着方式のものは大きい値を示している。

以上を総合するとすべり止め舗装関係の摩擦係数については、普通のアスファルト舗装であっても良好に施工された場合摩擦係数は十分大きいものが

えられる。そしてシールコートがなく、アスファルト量の少ないものの方がより良いようである。いわゆるすべり止め舗装と称して、ゴム質を混入したものとか、オープンなグレイドにしたものはそれだけでは普通の舗装と何等差はない。エポキシ樹脂を利用して良質の骨材（エメリー等）を接着させたものは明らかに良好である。

(2) すべり摩擦係数と事故との関係

すべり摩擦係数と危険度の関係については、さきに首都高速道路の千代田トンネル内の摩擦係数の低下と事故発生についてのべた。この場合摩擦係数が0.2にも下ったので危険になるのは当然である。

4号線東京都内で、交差点の手前で追突事故が多いので、原因がすべりによるものか、あるいは無理な運転によるものかを知るために測定したのが別表3-3である。その結果50Km/h、湿潤のときの摩擦係数は大部分は0.45以上であったが、ところどころ0.4以下のところが表われており、すべり摩擦係数も十分大きくはないことが分った。

別表3-4は17号線の上越管内芝原地区の事故多発地点である。現地は曲線区間であるため、事故の原因がすべりのためか、曲線のためかを判別するため、附近の直線区間のすべり摩擦をも同時に測定した。その結果は直線部分よりいくらか摩擦係数は小さいが、係数値は湿潤、30Km/hで0.65～0.66と十分に大きく、事故の原因は曲線線形のためであると考えられる。

別表3-5は17号線四十日地区の直線区間の事故多発地点である。同じような路面で事故の少ない部分は摩擦係数が0.59であるのに対して、事故多発地点は平均で0.45であるが、部分的には0.35、0.41と小さくなっている。この測定は降雨継続中に行なったので湿潤の中では比較的良好な路面と考えられ、降雨の始まった直後にはこれよりさらに摩擦係数が小さくなると考えられる。したがって事故の原因は路面のすべりにもあると考えられる。

別表3-9は14号線の京葉道路の東京側の地点である。ここでもオーバレーの直後追突事故が多いので測定したが、摩擦係数は平均で0.45であり、下り方向は0.42～0.41となった。追突事故の原因がすべりのみにあるとも考えられないが、0.42～0.41はやや小さい値である。

以上を総合して事故に関係する路面のすべり摩擦係数は 0.40～0.45 程度であると思われる。良好な道路では 0.4 より大きければよいが、路線線形の悪い所とか、追突の危険の多い所では 0.45 以上ないと安全とはいえないようである。

(3) すべり摩擦係数の路面上の左右の差

事故に関連するすべり摩擦係数では、絶対値の外に道路上の左右の差も問題になる。道路上の左右の差を正確に測定することはなかなか困難であるが、幸に本研究に用いたすべり試験車は測定輪が左右についているので、これで左右を同時に測定することができた。しかし、この場合も左右のタイヤ表面の状態が必ずしも同一でないで、正確な結論をうることはむづかしい。

コンクリート舗装面の左右の差は別表 1 で明らかなように、いずれの舗装についてもあまり見られない。特殊のものを除いて左右の差は 5 % 以内である。5 % 程度の差は建設したときのばらつきおよび測定の誤差範囲内と考えられる。アスファルト舗装面ではいろいろ問題があるようである。まず首都高速道路については建設直後（別表 2-4）には左右の差は表われていないが、通行開始より 1 年後の測定（別表 2-6）では右側が全体的に小さくなっている。その差は 10～30 %、平均 20 % 程度の差がでている。舗設直後に差がないのは大宮-吹上間（別表 3-18）でも同様である。17 号線の岡部町の試験舗装（別表 2-8～別表 2-12）はあまり左右の差は表われていないが、全体的にはいくぶん右側が小さい。千葉市宮野木の簡易試験舗装では左側が大きくなったり、右側が大きくなったりして非常にばらばらになっている。簡易舗装のために舗装面が均一でないことをよく表わしている。名阪国道（別表 2-15）のものは交通開始後あまり経過していないので左右の差は小さく、大体 10 % 以内である。つぎに土木研究所のアスファルト試験走路であるが（別表 2-16～別表 2-24）数多くの測定のいずれも大して左右の差はなく、大体 5 % 以内である。これは走行車両が少ないために、車両による研磨、圧密が少なく、気象による風化が均等に行なわれているためと思われる。東京都内の道路のように巾員が広く、車線区分が明瞭でなくて、車両が比較的自由に走行している所（別表 3-3、別表 3-9）ではやはり左右の差は見られない。ただ 4 号線の東京都内では場所的なばらつきが大きく、

とくに摩擦係数の低下した所で大きく30%にたっている。これが事故の原因となっていると思われる。曲線部分は直線部分に比べて右側が小さい（別表3-4）これは曲線部では、やはり多くの車両が中央部を走行するためと思われる。

以上を総合するとコンクリート舗装では左右の差はあまりない。アスファルト舗装では、まず舗設直後は左右の差はないが、走行車両による研磨、圧密が影響するので路面上で左右の踏み回数に差のあるような所では年月の経過と共に差が大きくなる。余裕のある車線区分道路とか、地方部往復2車線道路で中央線のない所、曲線区間等で差が大きい。反対に余裕のない車線区分道路とか、広巾員で自由に走れる道路、交通量のとくに少ない道路では差は少ない。

左右の差は5%程度までは建設および測定のばらつきと考えられる。アスファルト舗装の場合、走行車の影響をうけて10%程度までは止むをえないようである。20%の差が表われているような道路は一部に限定されており、他の原因と重なって事故を起す危険があるので補修上注意を要する。30%の差が表われている地点はそれのみでも事故に関連しているようである。

〔4〕 氷雪路面のすべり摩擦係数

コンクリートおよびアスファルト舗装路面のすべり摩擦係数の概要についてはさきにのべたが、これらの舗装面上に積雪があったり、表面水が凍結した場合は全然状況がことなるのである。この場合の摩擦係数は普通路面の摩擦係数に比べてはるかに小さいので、道路走行の安全を確保するためには、氷雪路面のすべり対策が非常に大切なのである。

（1） 氷面上のすべり摩擦係数

路面が完全に氷の皮膜で覆われた場合には最も摩擦係数は小さくなる。別表4-1～別表4-3はこの実験結果であるが、摩擦係数は0.07～0.24で平均0.15になっている。完全な氷になるとスノータイヤの効力もあまり表われない。別表4-7は名神高速道路の関ヶ原での測定値であるが、とくに降雨、または散水して氷結させたものではなく、除雪後にわずかに残った水分による目に見えない薄い氷の皮膜があった場合にも大きく摩擦係数を低下させ0.2程度に下っている。以上により氷面上の摩擦係数は0.1～0.2と考え

られる。

(2) 積雪上のすべり摩擦係数

積雪上の摩擦係数は、雪の状態の変化に応じて大きく変化する。18号線長野県柏原地区(別表4-4)では圧雪状態で0.20~0.29となっている。名神高速道路の関ヶ原地区の実測(別表4-5~別表4-7)では薄い新雪の場合0.2~0.3であり、融雪が始まると0.35~0.40と大きくなっている。古い積雪の層でざくざくになっているものも0.4前後である。東北の実験で(別表4-8~別表4-17)積雪があつて薬剤を散布していないものは0.20~0.30の範囲にある。18号線の長野、新潟県境の積雪上では0.3~0.4であつた。氷または積雪の上に砂または薬剤を散布した場合には摩擦係数は大きくなり、もちろん融解してしまったときはもとの舗装面の摩擦係数にかえるわけである。

以上により積雪上の摩擦係数は新雪、薄い層の雪および氷に近い圧雪の場合0.2~0.25であり、普通の積雪、圧雪の場合0.25~0.30、厚いざらめ雪および融け始めた雪等では0.30~0.40程度である。

(5) 特殊路面のすべり摩擦係数

舗装路面および氷雪路面以外の特殊な路面における摩擦係数も問題になることがあるので、二、三測定した。

仮設道路用鋼板の摩擦係数を測定したものが別表5-1~別表5-8である。まず平鋼板については別表5-1で乾燥状態においては縦すべりで0.5~0.6であり、横すべり20°の場合も0.31~0.49であるが、湿潤になると急に小さくなり、縦すべり、横すべり共に0.2以下になっている。さらに赤土をかけて泥にした場合は0.1以下となり氷よりもさらにすべりやすくなっている。縞鋼板(図4-10)の場合は乾燥状態で縦すべり摩擦係数は0.8~0.5、横すべり摩擦係数は0.6程度で良好であるが、湿潤になると縦横共に0.2程度に落ち、さらに赤土をかけると0.1程度におちる。全体的に平鋼板の摩擦係数よりはそれぞれ大きいのが、湿潤および赤土でよごれた場合は安全ではない。縞の代りに穴をあけて少し突起をつけた穴あき鋼板(図4-11)の結果を別表5-2に示している。穴あき鋼板の場合も乾燥状態では縦横共に0.5程度であるが、湿潤になると0.27~0.32になる。同一条件での土

木研究所試験走路のコンクリート面が乾燥で 0.5、湿潤で 0.32～0.54 であるのと比較すると、乾燥では十分良好であるが湿潤では少し小さいようである。

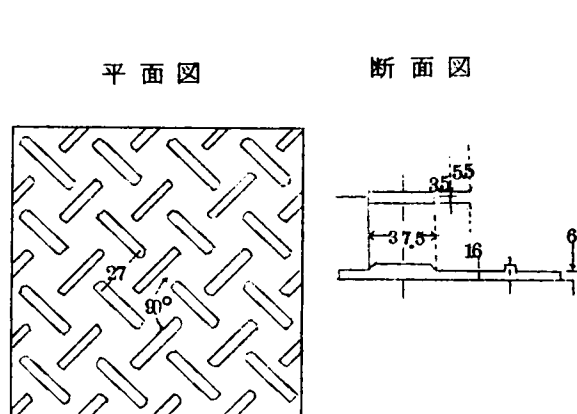
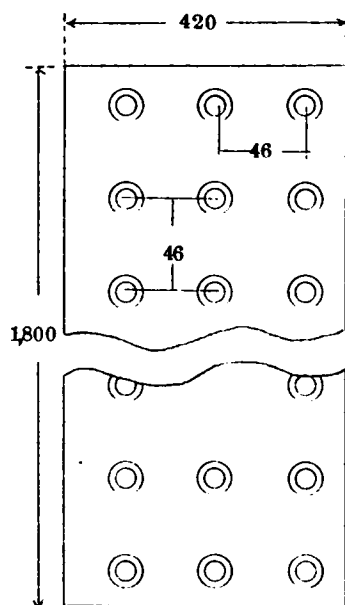
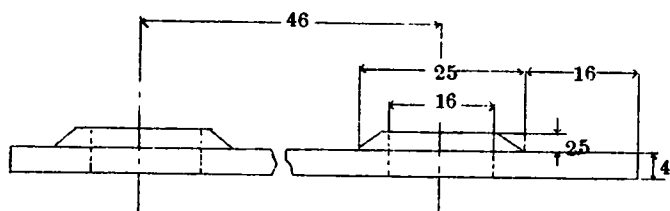
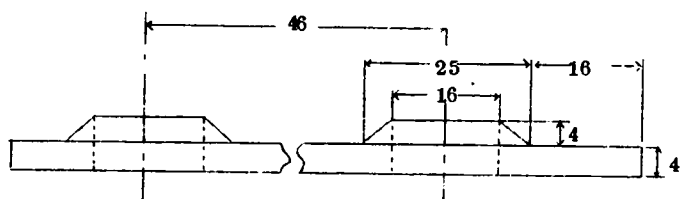


図 4-10 縞鋼板



平面図

図 4-11-a



断面図

図 4-11-b 穴あき鋼板

さらにいもの鉄板（図 4-12）および凸型鋼板（図 4-13）についての測定値は別表 5-7、別表 5-8 である。いずれも乾燥時はすべり摩擦係数はやや大きい、湿潤になると小さくなる。ただいもの鉄板は湿潤時もやや良好である。

以上により平鋼板は湿潤時摩擦係数は 0.20 以下になり非常に危険である。縞鋼板は 0.2 よりは少し大きい。凸型鋼板および穴あき鋼板はさらに大きく 0.27 程度である。いもの鉄板は最も大きく 0.4 程度である。赤土に水をかけた場合は全体にさらに

小さくなり 0.1 ~ 0.2 またはそれ以下になるので非常に危険である。この場合もいもの鉄板はやや大きい。

砂利道のすべり摩擦係数は測定例は少いが別表 5 -

6 の三国峠の例では 0.43 となっている。

§ 4.3 すべり摩擦に関する諸要因

前節で検討したように、路面のすべり摩擦係数は測定条件によって非常に変化することが明らかになった。一方ゴムのすべり摩擦状態における機構については § 2.2 で一般論的にのべた。それによると

ゴムと路面のすべり摩擦力の主要なものは、(1) ゴムと路面の付着によって起る剪断抵抗力と、(2) ゴムの表面が変形するときのヒステリシス損失による抵抗力と、(3) ゴムの凝集力を路面の突起物等が破壊するときの抵抗力（溝切り作用）の 3 つである。そこで本節においてはまず、摩擦係数に影響を及ぼす要因について § 4.2 でえられた実測値を中心に検討し、そのうちの主要なものについては、さらに次節以降で詳しく検討することにする。

〔1〕 タイヤ条件

(1) タイヤゴム質

すべり摩擦機構からみるとゴム質は付着剪断抵抗、ヒステリシス損失、および凝集力のいずれにも関係するので、タイヤのゴム質がすべり摩擦係数の大きい要因であることは当然である。ゴム質 (*Hard Rubber, Medium Rubber, Soft Rubber*) によって摩擦係数がことなることは 図 2.8¹⁾ での

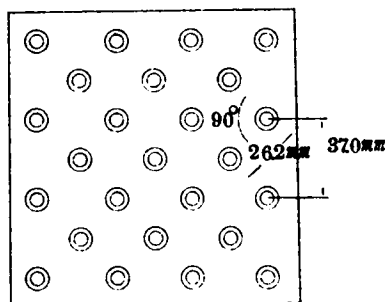


図 4-13 円形突起鋼板

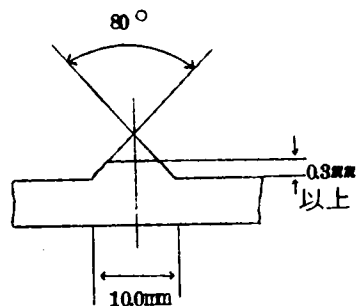


図 4-12 鑄鉄覆工板

べた通りであり、同様の実験を英国の *Road Research Laboratory* でも行なっており、その結果は図 4-14²⁾ に示す通りである。これらの結果を見ると、一般にゴム質は硬いもの（弾力性の小さいもの）の方が摩擦係数は大きいようである。

ゴムの種類によっても摩擦係数がことなるのは当然であって、さきにのべた図 2-3³⁾、図 2-7⁴⁾、に示す通りであり *Road Research Laboratory* の実験結果は図 4-15²⁾ の通りである。ゴムの種類が摩擦係数に影響するのはゴムの弾性、付着剪断力、凝集力の影響の外に、温度変化による性質の変化が大きく関係している。すべり面は発熱によってかなりの高温に保たれており、そのためにゴムの一部が剝離または融解して路面に付着する場合がある。したがってゴムの融点、軟化点もすべり摩擦に関係する。またゴムの種類によって親水性のものと排水性のものがあり、湿潤時の試験ではその影響もあるようである。現在わが国で実用に供されている乗用車のタイヤは、ほとんどすべて合成 *S.B.R.* タイヤであり、トラック、バス等を使用されているのは主に天然ゴムタイヤである。この両者のすべり特性を比較したものは表 4-1 および別表 6-1 の通りであり、あまり差はない。以上のようにタイヤのゴム質がすべり摩擦に関係する要因の一つであることは明らかであるが、ここではゴム質に対する検討は深く行なわず、ブリヂストンのリブタイヤ（全合成 *S.B.R.*）に限定して実験解析を進めた。

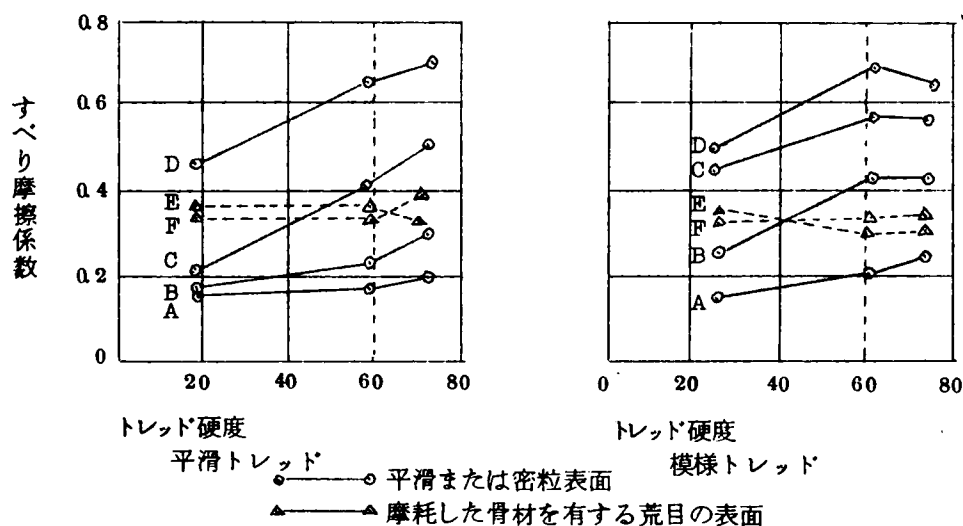


図4-14 トレッドゴムの硬さと濡れた表面でのすべり抵抗（英国）

表 4-1 ゴム質と摩擦係数

(その1)

スキッドレジスタンステスターによる
試験(ブリヂストン社)

ゴム質 A: NR 配合

B: SBR "

C: SO "

D: BR "

E: IIR "

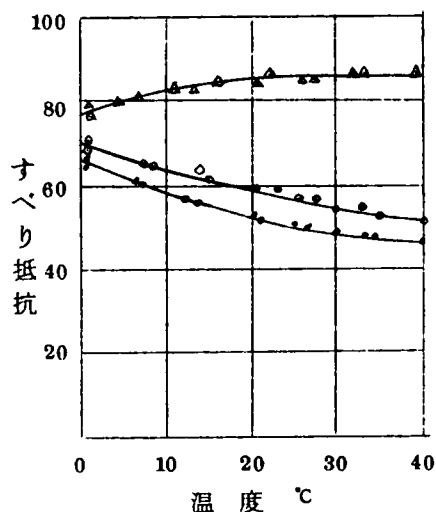


図4-15 種々のタイヤゴムと荒目の表面を持つアスファルト路面との間のすべり抵抗と温度との関係(英国)

ゴム質	名神用アスコン		密粒アスコン		滑止め工法アスコン		粗面コンクリート		平滑コンクリート	
	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
A	112	48	108	47	101	47	103	67	95	68
B	94	47	95	47	92	45	99	69	91	71
C	106	57	106	57	98	58	106	81	97	76
D	102	32	92	32	97	32	94	49	88	56
E	100	70	100	71	97	76	113	95	97	82

(その2)

スキッドレジスタンス
テスターとスキッドパ
ッド実車による試験

ゴム質 A: SO 配合

B: SO+BR 配合 A

C: " B

D: SO+Hi-
Styrene 配合

E: NR 配合

ゴム質	スキッドレジスタンス テスター	スキッドパッド実車	
		すべりはじめ	すべりの限界
A	49	0.36	0.47
B	43	0.36	0.48
C	39	0.36	0.43
D	46	0.37	0.45
E	44	0.35	0.42

(2) 路面模様（トレッドパターン）

タイヤ表面のトレッドパターンがすべりに関係するのは、主として湿潤時である。タイヤに適当な排水（集水）用の溝を作っていないと、接触面全体に水が分布して摩擦抵抗を低下させる。適当な排水溝があった場合はそこに水が集り、真の接触面は少量の水の皮膜がのこるだけとなり、摩擦抵抗もそれほど低下しない。乾燥時にはむしろ平滑なトレッド面の方が摩擦抵抗が大きいことは先にのべた通りである。

駆動時の摩擦抵抗は少し状況がことなる。駆動時の中でも、一般の車両が平坦な舗装面で駆動を開始するときは、さきにのべた通りであるが、路面に凹凸がある場合で駆動時の低速走行のときは路面の凹凸とトレッドパターンの凹凸とがかみ合って抵抗を大きくすることもある。とくに砂利道等ではこの傾向が強く、タイヤのトレッドが一種のキャタピラの突起のような作用をする。このような所ではラグタイプまたはグリップタイプのトレッドの方が大きい抵抗をもつ。また泥濘に近い所ではトレッドの突起によって抵抗を大きくする外に、タイヤが空転した場合、タイヤと地面の間であって潤滑の作用をしているやわらかい泥土を取除き、摩擦抵抗力を増大して駆動力を大きくするためにグリップタイプまたはアースムーバータイプのトレッド模様の方が大きい抵抗力をだす。

積雪上で制動または駆動する場合のまさつ抵抗は単なるタイヤ面と雪面との摩擦抵抗（剪断）の外に、トレッドの溝に入った雪の剪断抵抗を大きく利用するようにするとよい。完全なラグ型の場合には溝の中の前後の雪のつながりがなくて雪が壊れやすく、したがって前後方向の摩擦抵抗が小さく、また横方向のすべり抵抗も小さい。完全なリブ型の場合には溝の中の雪は壊れにくい^とが、前後方向に対する剪断抵抗が少ない。したがってラグとリブを兼ね合わせたような斜めパターンのものがよい。これがいわゆるスノータイヤである。スノータイヤの外にチェーンを巻付けてすべり抵抗を大きくしようとしたものとか、スパイクをつけたものもある。共に冰雪上で駆動時の摩擦抵抗がとくに大きくなる。これら各種のトレッドパターンについては図2-19、図2-20に示した。

トレッドパターンは上述のような効果があるので、逆にトレッドが摩耗し

た場合はそれだけ効果が小さくなり、摩擦抵抗に影響を及ぼすことになる。
その影響の程度はなかなかむづかしいが図 4-16、17 にブリヂストン社で
行なった実験結果の一例を示す。

図 4-16 新品タイヤ及完全摩耗

タイヤの速度による摩擦係数
(ブリヂストン社)

テスト方法 ブレーキテスト

路面 *Dry*…普通コンクリート

Wet…平滑アスファルト

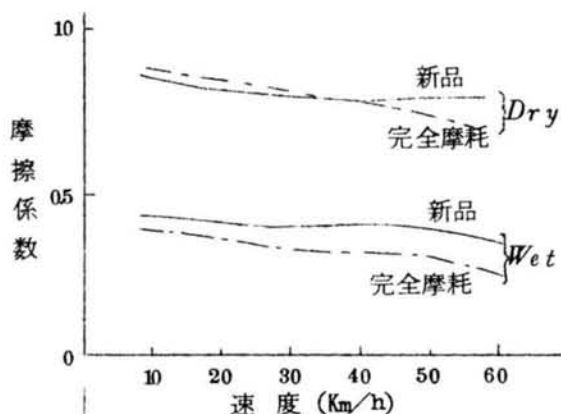


図 4-17 トレッド摩耗量と摩擦

係数 (ブリヂストン社)

縦方向…ブレーキテストによる。

横方法…定常円旋回を行ない車
速を少しずつアップし
ていき、リヤタイヤ
が横すべりを始めた瞬
間の車速より横方向摩
擦係数を算出

路面……*Wet* な平滑アスファ
ルト

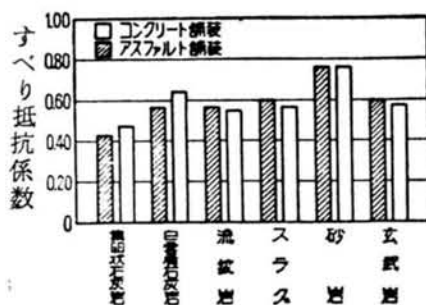
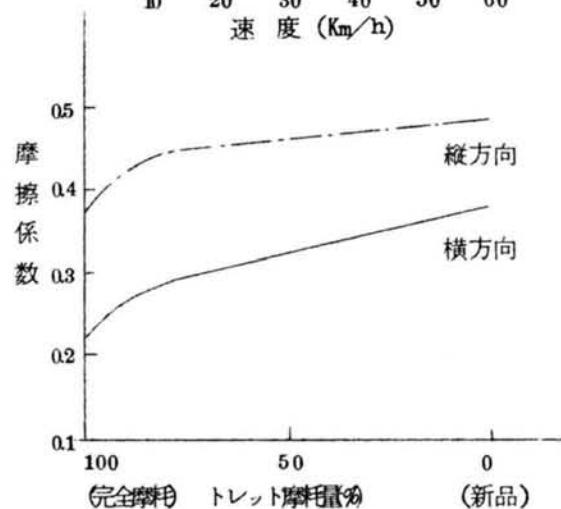


図 4-19 舗装種類、岩種による
すべり抵抗値 (J.W. Shope)

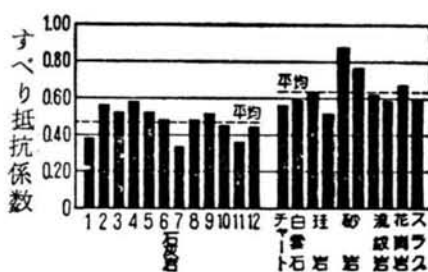


図 4-20 岩種によるアスファルト舗装
のすべり抵抗値 (J.W. Shope)

(3) タイヤ内圧および接地圧

タイヤの内圧が変化した場合当然接地圧も変化し、摩擦係数は変化する。まず縦すべり摩擦係数については、タイヤ内圧が増加すると接地面積が減少し、摩擦面の接地圧力が増大する。摩擦面の単位圧力が増大すると、さきのべた一般論により付着剪断抵抗が減少し、摩擦係数が小さくなる。しかし湿潤路面の場合には排水の問題があり、排水上は単位圧力の大きい方が有利なのであまり顕著な差は認められない。

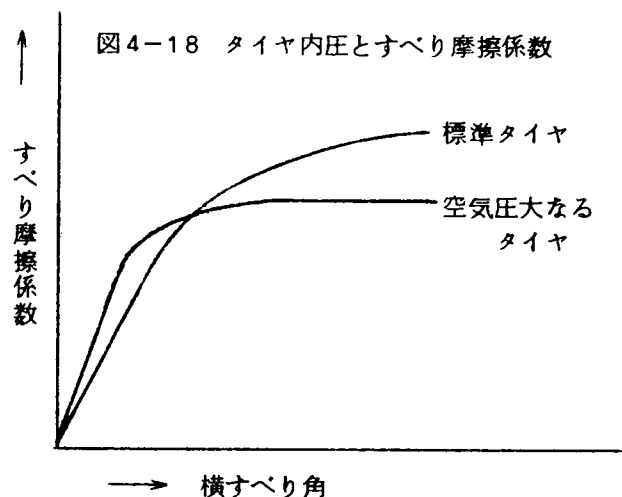
横すべり摩擦係数については、横すべり角の小さい間の横すべり摩擦係数は接地面の摩擦力よりも、タイヤ自体のねじり抵抗の影響の方が大きい。したがってタイヤ内圧が増大すると一般にタイヤの剛性は増大し、横すべり摩擦係数は増大する。しかし最大横すべり摩擦係数はほぼ縦すべり摩擦係数と等しいので、タイヤ内圧が増大すると最大横すべり摩擦係数は減少する。これらの関係を図4-18に示す。湿潤路面の場合もタイヤ内圧が増大すると、横すべり摩擦係数は増大するが、最大横すべり摩擦係数は排水性と、付着剪断力の関係で増大する場合も、しない場合もある。

(4) 輪荷重およびタイヤの形状

輪荷重が増減してもタイヤ内圧が変化しない範囲では縦すべり摩擦係数はあまり変化しない。しかし横すべり角のある横すべり摩擦係数は、一般に輪荷重の増大と共に減少する。これは輪荷重が増大すると接地付近のタイヤがやや偏平となり、横方向の剛性が減小するためと考えられる。

タイヤの大きさはあまり摩擦係数には関係しない。しかしタイヤの横断形状は横剛性に関係するので、横すべり摩擦係数に関係してくる。タイヤの太さとタイヤ内径との比も横剛性に関係し、横すべり摩擦係数を変化させる。

〔2〕 路面条件



(1) 路面および舗装の種類

路面の種類によって摩擦係数はことなる。一般に舗装路面の摩擦係数が一番大きいことは明らかである。別表の実測値をまとめると表4-2 のようになる。氷雪路面上の摩擦係数の小さいのはゴムと氷の摩擦係数が小さいためであって、これはよく知られている。砂利道上の摩擦係数は舗装面よりやや小さい。鉄板等の仮設路面の摩擦係数は小さく、特に湿潤時に小さい。

舗装面の摩擦係数について。舗装の種類はすべり摩擦係数の決定的要素ではないことは先にのべた。どんな種類の路面でも、その組成、表面粗さ、対摩耗性等によって、すべり摩擦係数が大きい場合も、小さい場合もある。セメントコンクリート舗装と瀝青系舗装の比較でもあまりはっきりした差違はなく、瀝青系舗装の方が摩擦係数の分布の範囲が広がっている。湿潤時の摩擦を主にして考えると、まさつ抵抗の大部分は骨材とタイヤの間の摩擦抵抗であるので、なるべく結合材量を少なくして、骨材が多く表面に表われるようにした舗装の摩擦係数が大きい。ゴム混入アスファルトを使用した舗装はすべり抵抗の面で普通のアスファルト舗装より多少優れているといわれている。しかしこれもゴム混入アスファルトの材質そのものの原因ではなく、間接的に表面の骨材組成が良好になったためであると考えられる。

ブロック舗装の摩擦係数が小さいことは単位面積当りの圧力が大きくなることから容易に説明される。

(2) 骨材の性質、結合材の種類および量

舗装面のすべり抵抗を負担するのは主として骨材であるため、骨材の性質は摩擦係数に重要な関係がある。骨材の種類に応じた摩擦係数の変化の1例を図4-19、20に示す。鉱滓や砂岩はすべり止め骨材として良好であり、特にエメリーおよびシリカサンド

表4-2 路面の種類別のすべり摩擦係数の範囲

路面の種類	摩擦係数の範囲	
	乾 燥	湿 潤
コシクリート舗装	1.0 ~ 0.5	0.9 ~ 0.4
アスファルト舗装	1.0 ~ 0.5	0.9 ~ 0.3
砂 利 道	0.6 ~ 0.4	
鋼 板 等	0.8 ~ 0.4	0.5 ~ 0.2
積 雪 路 面		0.5 ~ 0.2
氷 路 面		0.2 ~ 0.1

は優れたすべり止め効果を表わす。一方石灰岩は磨耗に弱く、しかも磨耗した場合平滑になるのですべりの原因となることが多い。骨材の粒度については色々の意見があるが、まだはっきりした結論はえられていない。われわれの行なった測定結果からは、影響は少ないことは明らかである。路面の凹凸がゴムとの摩擦に影響する大きさはmm単位ではなく1mmより小さい所にあると考えられ、したがって骨材の粒度配合が直接関係ないことも説明できる。

骨材の磨耗性がすべりに影響するのは明らかであって、磨耗が少なく、とくに磨耗しても平滑にならないものがよい。骨材の化学組成も一部すべりに影響すると思われるが、あまり明らかではない。

結合材の種類はすべりに関係する。セメントペーストおよびアスファルトのすべり摩擦係数は表4-3の通りである。共にすべり摩擦係数は小さく、むしろすべりやすい原因となっていると考えられる。瀝青の種類によるすべり摩擦係数の差は少ないと考えられる。夏季高温なときのすべり抵抗はアスファルトまたはタールの堅さ（軟化点）とも関係する。アスファルト舗装はコンクリート舗装に比して路面温度の上昇にともなう摩擦係数の低下率はやや小さい。結合材の量、特に舗装表面の結合材量が多くなると摩擦係数は減少する。フラッシュしたり、シールコートを行なって十分骨材を圧入しなかったアスファルト舗装がすべりやすいのはこのためである。

表4-3 特殊舗装面のすべり摩擦係数値

種別	測定路面	速度 km/h	まさつ係数		路面温度		外気温 ℃	摘 要
			乾燥	湿潤	乾燥	湿潤		
結合材のみの舗装面	アスファルトペースト	20	0.538	0.309	128℃	115℃	9.0℃	41年11月4日 晴
		40	0.480	0.111				
		60	0.447	0.073	14.0	11.8		
	セメントペースト	20	0.513	0.339	11.5	11.5		
		40	0.475	0.302				
		60	0.519	0.234	11.5	11.5	6.0	
	アスファルトペースト	20		0.321		11.5	6.0	41年11月16日
		40		0.180				
		60		0.142		11.5		
	セメントペースト	20		0.457		11.0		
		40		0.392				
		60		0.274		11.3	7.1	

フラッシュしないまでも、重交通に圧密されたアスファルト舗装は摩擦係数が小さくなる。コンクリート舗装でもセメント量が多過ぎるとすべりやすくなる。特に仕上に当って表面にレイトンス、セメントペーストが多く残らないようにしなければならない。

(3) 路面の粗さ

路面の粗さがすべり摩擦係数に関係することは十分考えられる。しかし正確に定量的にその影響を把握するのは困難である。路面の粗さがすべりに関係する一因は、粗さが排水性に関係するためである。一般に凹凸のある路面の方がタイヤ接地面の排水が速やかである。凹凸があれば接地面は多くの部分に分割されるので水はその谷間に逃げやすくなり、凸部は良好なすべり抵抗を示すことになる。この効果は平滑タイヤで顕著であるが、トレッドパターンのあるタイヤの場合はタイヤ自身が接地面を分割し、排水路をもつのであまり影響はない。路面の粗さは路面の凹凸に関係し、凹凸はヒステリシス損失および凝集力破壊の摩擦に関係する。しかしこの場合の凹凸は非常に小さい単位のものであり、一般に言う粗さは摩擦係数とは関係しないと考えてもよい。一般に路面突起物とタイヤゴムとが圧接する際の局部圧力の分布は、突起物の形状とタイヤゴムの硬さによって決まり、突起物の高さには関係しない。

アスファルト舗装のオープングレイドと密粒度のものとの比較は、後節で説明するがあまり差は認められない。しかしエメリー、シリカサンド等を使用して細目の粗面仕上を行った舗装は最も摩擦抵抗が大きく、とくに湿潤時の摩擦抵抗が大きい。

(4) 路面の異物

路面の異物はすべり抵抗を減少させる。鉱物質のじんあいはコロの作用をして摩擦抵抗を減少し、泥土等は湿潤時に潤滑作用をする。また油脂、タイヤゴムの粉等もすべりの原因となる。降雨の始めにすべりやすいのはこれらの原因による。

雪氷のある路面については後節でのべる。レーンマーク等路面表示を塗布した部分のすべり抵抗は一般に他の部分より小さく、特に湿潤時に小さくなる。

(5) 乾燥と湿潤

湿潤路面の場合摩擦係数が小さくなるのは周知の事実である。これについては次節でのべる。

(6) 温度および季節による変化

夏季と冬季で同一路面でも摩擦係数が異なることは良く知られている。まず温度が異なる場合摩擦抵抗は異なるのである。冬季の摩擦係数は夏季と比べてかなり大きい。この原因は温度の影響と、季節による路面状態の変化の二つが考えられる。まず温度が異なる場合摩擦抵抗は異なる。普通の気温の範囲では温度の上昇と共に摩擦係数は低下する。しかしアスファルト舗装ではこの傾向がやや少ない。それは高温になるとアスファルトが軟化するためであると考えられる。温度の影響は摩擦面でタイヤのゴムが焼け、または融解するため、およびタイヤゴムの性質の変化によって生ずるものである。温度が上昇すると摩擦面の温度も高くなり、ゴムが融解しやすくなる。また温度が上昇すればタイヤゴムのヒステリシス損失が減少し摩擦抵抗が小さくなる。一般に温度の影響は低温領域で大きく、高温（40℃以上）ではほとんどなくなる。すべり速度の特に小さい場合、および平滑で湿潤な面の場合等では温度の影響は小さい。諸外国の実験結果を図4-21、図4-22⁵⁾に示す。

季節によって摩擦係数が変化する原因の大部分は温度であるが、温度の外にもいわゆる季節によって摩擦係数がことなる場合がある。アスファルト舗装等では交通車両によって舗装が圧密され、平滑になる場合がある。この現象は気温の高い時に多い。逆に交通および自然の気象によって剝離され粗面となるのは冬季に多く見られる。その結果同一温度であっても春と秋では摩擦係数値は異なり、一般に春の方が大きい。雨期と乾期の区別のある所では、雨期の方がすべり抵抗が大きい。それは雨期には路上の異物が洗い流されて少なくなるためである。

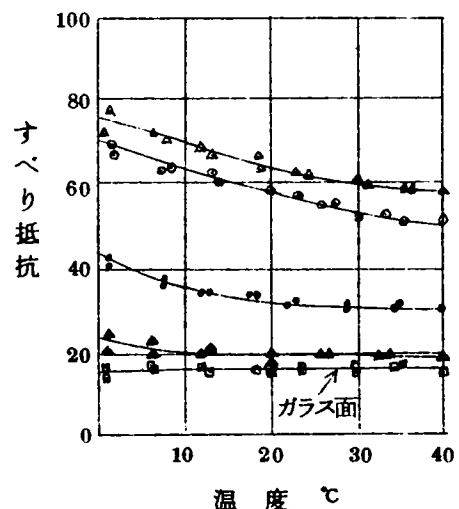


図4-21 種々の路面におけるすべり抵抗と温度との関係（英国）

(7) 経年変化

舗装面の摩擦係数は年月と共に変化し、通常いくぶん小さくなる。年と共に摩擦抵抗が減少するのは気象作用と交通作用によるが、主として交通作用による影響が大きいと考えられる。一つは重交通によって舗装体が圧密され、平滑化することであり、一つは交通によって摩耗し、平滑になることである。したがって経年変化は舗装の種類および組成と使用骨材の種類によって影

響のし方が異なる。良質な舗装で、良質な骨材を使用したものは経年変化は少ないが、フラッシュしやすいアスファルト舗装や、平滑になりやすい骨材を使った舗装はその影響が大きい。

〔3〕 制動条件

(1) 速度とすべり摩擦係数

タイヤと路面の間のすべり摩擦係数は速度の増加と共に減少する。最大摩擦係数は静止に近い低速の所でえられる。しかし乾燥路面では一定値に達する限界が早く、 40 km/h 程度以上になるとほぼ一定となる。湿潤路面では速度の増大と共に摩擦係数は減少し 100 km/h 程度で一定値となるが、水膜の厚い場合には高速になるとハイドロプレーニングの現象が生じ、さらに抵抗係数は低下する。速度と摩擦係数の相関関係については今まで定量的なものはえられていないが、今回これについて次節で論ずることにする。

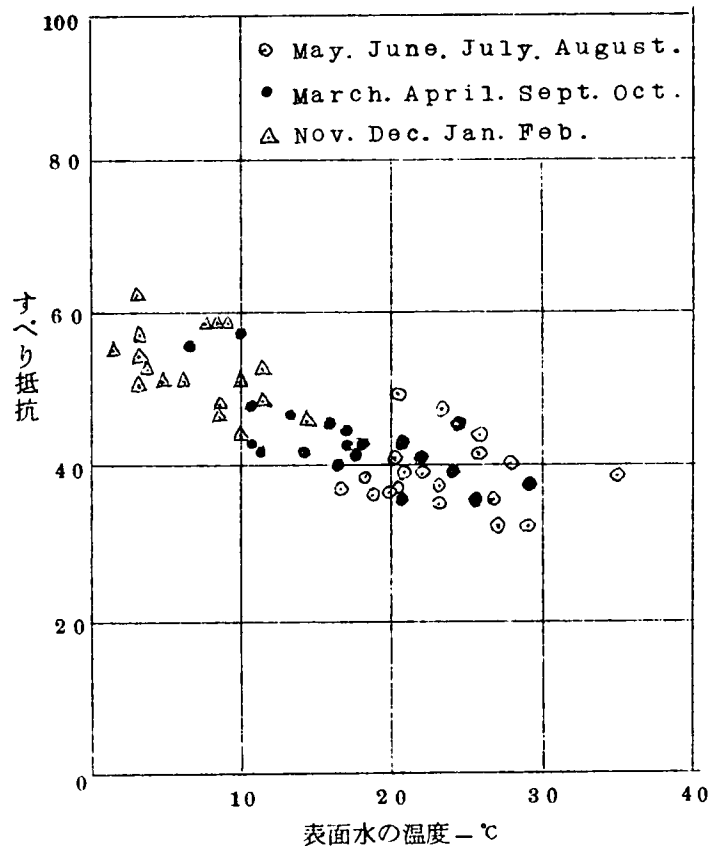


図4-22 温度および季節と摩擦係数

(2) 駆動と制動

摩擦係数は自動車が発動する場合と、制動する場合と共に働くことになる。方向は逆方向である。制動時の摩擦係数は一般に論じられているものであり、主としてタイヤがロックされたときの路面とタイヤの間の摩擦係数をいう。駆動時の摩擦係数は静止している車が発進するときのものであり、また走行中の車が加速するためおよび外からの抵抗（空気抵抗等）に対応するためにタイヤと路面の間に働く抵抗である。したがって駆動時の摩擦係数は静止摩擦（非常に低速な場合）に近い状態での摩擦であり、摩擦係数としては最も大きい。特殊な状態として積雪上または泥 寧上で始動する場合車輪がいくらかスリップしながら発進する場合がある。この場合の摩擦は前両者の中間状態であり、摩擦係数もほぼ中間的な値になると考えられる。

(3) 縦すべりと横すべり、および横すべり角

すべりの種類として縦すべりと横すべりがあることは先にのべた。すべり摩擦係数もこの種類に応じて異なることは当然である。特殊な場合を除いて横すべり摩擦係数は縦すべり摩擦係数よりいくらか小さい。さらに横すべり角を持った横すべり摩擦係数については、角度の小さい場合摩擦係数は小さくなる。その関係を

図 4-23 に示す。

横すべり角のある場合の横すべり摩擦は路面とタイヤの接した面の摩擦というよりも、タイヤのねじれ抵抗に相当するものであり、タイヤの剛性とすべり角に比例した抵抗となる。角度のある横すべり摩擦と、ロックして斜めにすべった場合の

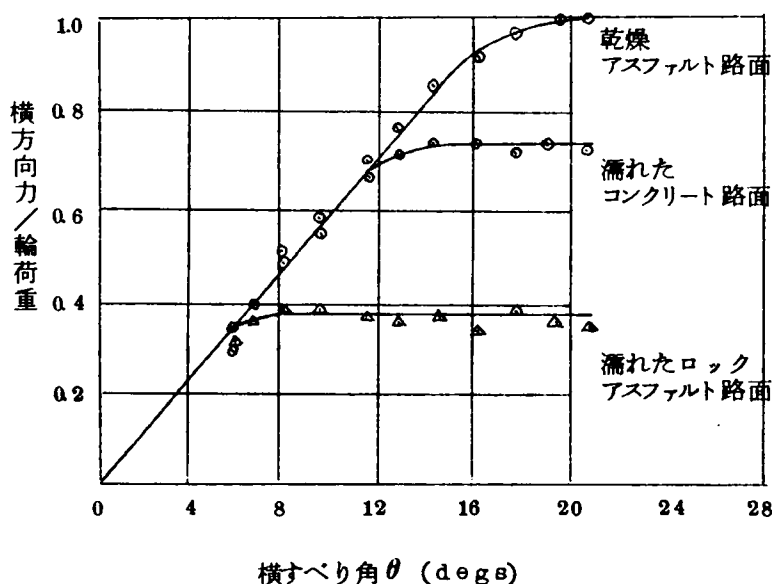


図 4-23 横すべり角と横方向力

摩擦とは全然定義が異なることについては先にのべた。

(4) すべり率および制動操作

タイヤが自由に路面上を転動している場合はすべり率は0であり、完全にロックされたときはすべり率100%である。普通の制動状態ではすべり率は0と100%の中間状態にある。摩擦係数はすべり率に応じて変化し20%程度のとき最大になる。これらに関する資料は図4-24～図4-29⁶⁾の通りである。したがって実際に走行中制動した場合の自動車と路面のすべり摩擦係数は制動操作にも関係し、急にロックしたままの制動よりもポンピングブレーキ（ブレーキペダルを断続的に何回も踏んでロックしたりゆるめたりすること）とか同調ブレーキ（自動車のビッチング周期と同調するようにポンピングブレーキを行なうこと）等によった方が平均摩擦係数は大きくなる。これらの機能を機械的に制動装置の一部に付与することは今後の課題である。また実際の自動車の制動効果は以上の外に各車輪の荷重と制動力のバランスが必要である。

バランスが悪いと一部の車輪はロックしてすべり率100%となり、他の車輪は十分制動されないことがある。この場合自動車には回転力が働くと同時に、合計摩擦抵抗力も小さくなる。

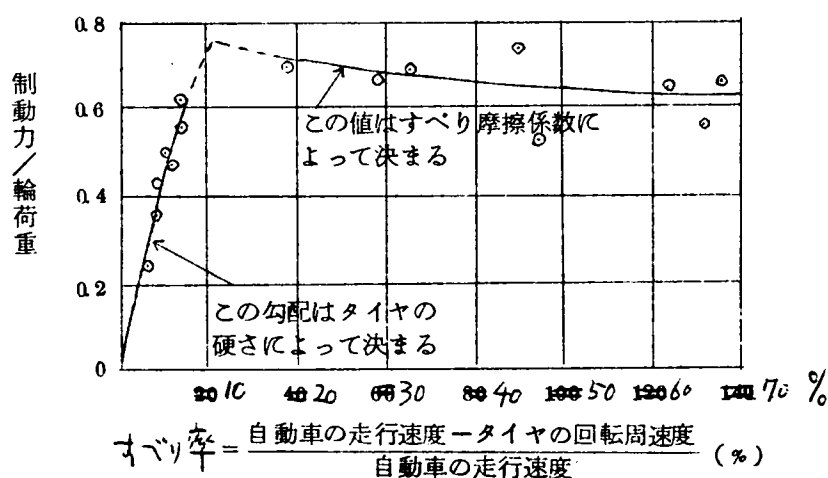


図4-24 すべり率とすべり抵抗

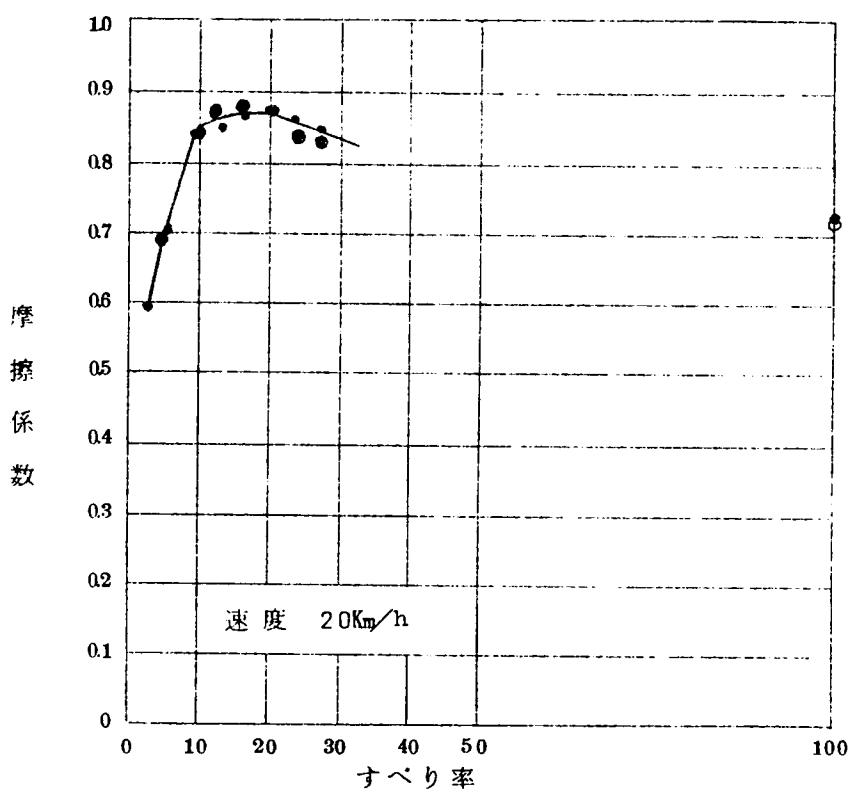


図4-25 すべり率と摩擦係数 (20 Km/h、リブタイヤ、湿潤アスファルト)

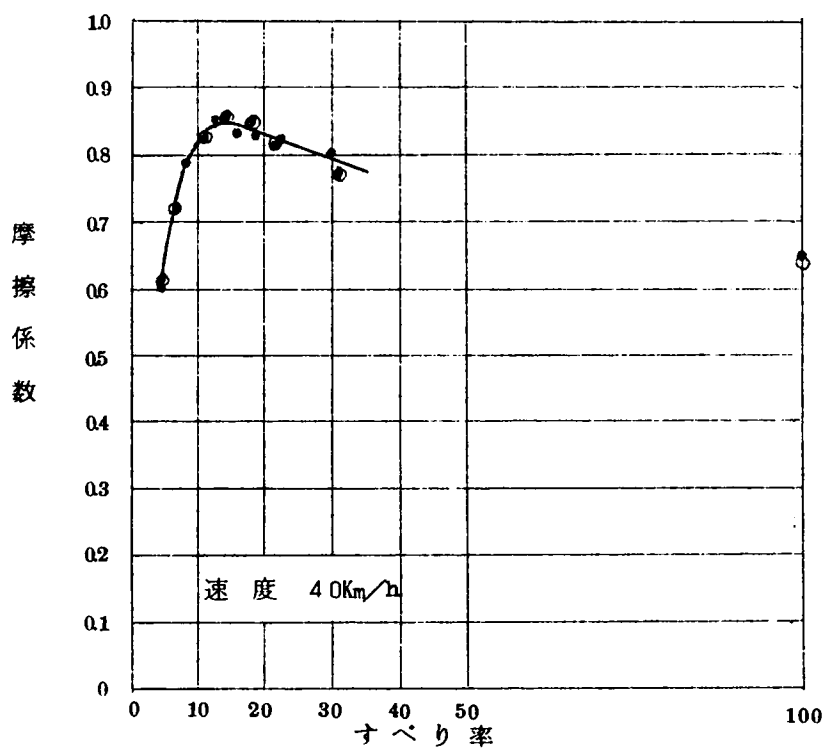


図4-26 すべり率と摩擦係数 (40 Km/h、リブタイヤ、湿潤アスファルト)

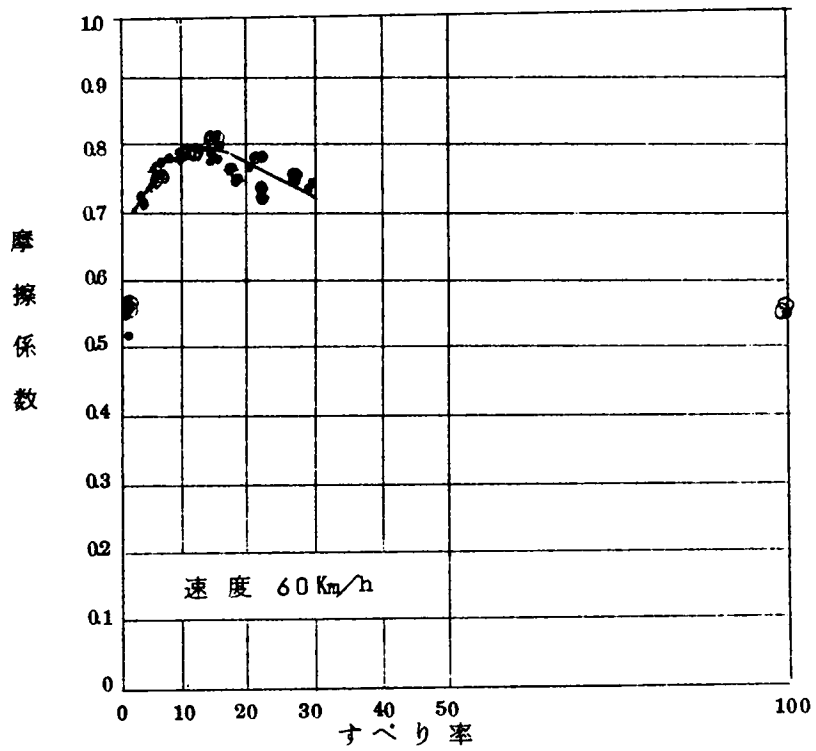


図4-27 すべり率と摩擦係数 (60 Km/h、リブタイヤ、湿潤アスファルト)

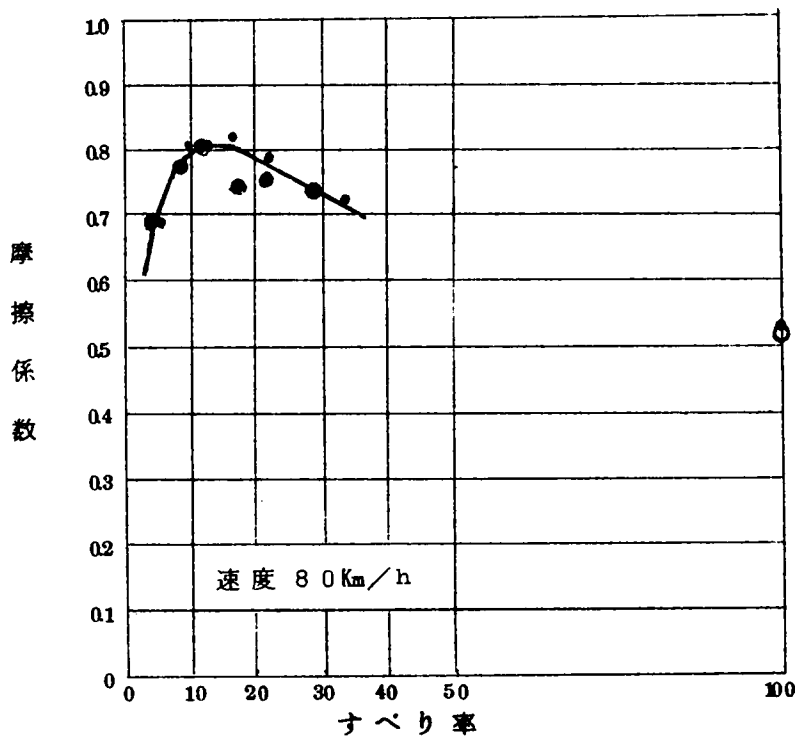


図4-28 すべり率と摩擦係数 (80 Km/h、リブタイヤ、湿潤アスファルト)

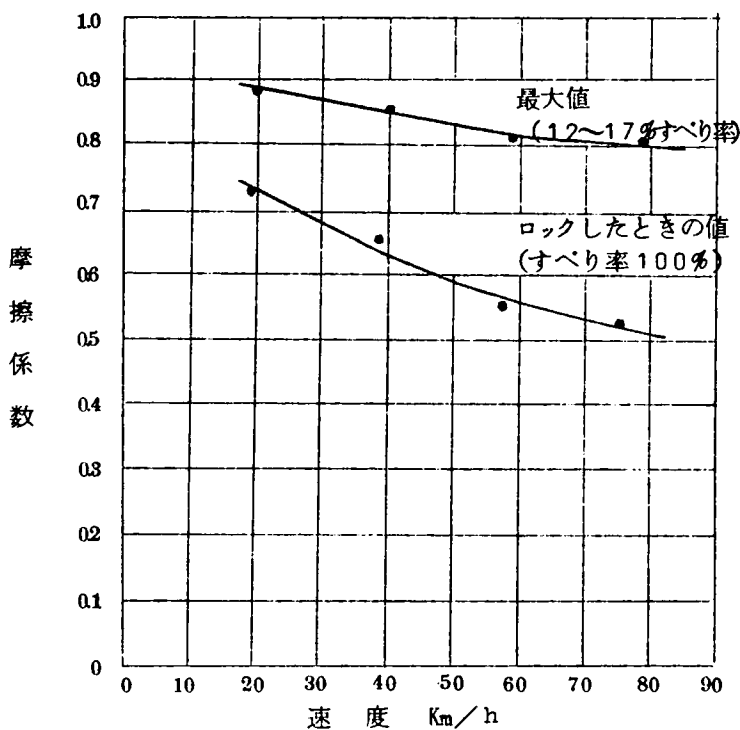


図4-29 摩擦係数と速度（リブタイヤ、湿潤アスファルト）

§ 4.4 乾燥と湿潤によるすべり摩擦係数の変化

乾燥路面と湿潤路面ではすべり摩擦係数の状況は全く異なる。乾燥路面の摩擦係数は付着剪断抵抗を主とし、これにヒステリシス損失の抵抗を加えたものである。湿潤路面は水分のために付着剪断抵抗がさまたげられ、全体的なすべり摩擦係数は小さくなる。この水分による付着剪断抵抗の減少の割合が種々の要因によって大きく変化するので、ここに問題が生ずることになる。

〔1〕 乾燥路面のすべり摩擦係数

乾燥時の摩擦係数は主としてタイヤのゴム質によって大部分が決定され、路面および走行速度による差は少ない。普通路面の乾燥時のすべり摩擦係数は大体 0.7～0.9 の範囲内にある。この範囲内で温度が低いときは摩擦係数は大きく、0℃ 付近になると 1.0 前後の摩擦係数がえられる。30℃ 以上では温度の影響はなくなる。速度が増大すると摩擦係数は減少するが 40 Km/h 以上はほとんど変化はない。特に高速になると（100 Km/h）逆に摩擦係数

はいくぶん増加する傾向がある。乾燥路面で摩擦係数が大きいのは、表面の平滑な舗装である。図4-30、図4-31⁷⁾は建設省の直轄技術研究会で全国的に調査した結果である。この図の表面粗さは細砂(0.3mmを通過し0.15mmに止まる粒径のもの)を一定量(30cc)路面に盛り、これをストレートエッジでほぼ円形に路面の凹部をうめるように拡げた場合の砂の広がりをもの直径で表わしたものである。この図によるとコンクリート舗装では表面粗さと摩擦係数の間にはっきりした関係は見られないが、アスファルト舗装では粗い面ではいくぶん摩擦係数は小さい。

これはゴムの接触圧力と剪断抵抗の関係からも了解される。乾燥路面で摩

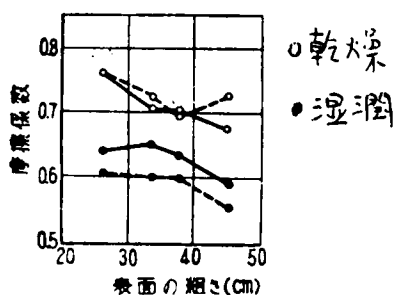


図4-30 セメントコンクリート舗装の表面粗さと摩擦係数との関係

擦係数が小さいのは、表面の粗な場合の外に、路面のよごれが問題となり、じんあいの多い路面では摩擦係数が特に小さくなることもある。

(2) 湿潤路面のすべり摩擦係数

湿潤路面のすべり摩擦係数は乾燥路面のものよりも小さい。湿潤路面

のすべり摩擦係数は接触面の排水性が一番重要な問題となる。排水性の良好な場合はほぼ乾燥時の摩擦係数と等しい値となり、場合によっては乾燥時の摩擦係数より大きい値となることもある。(別表2-16～2-24、別表3-

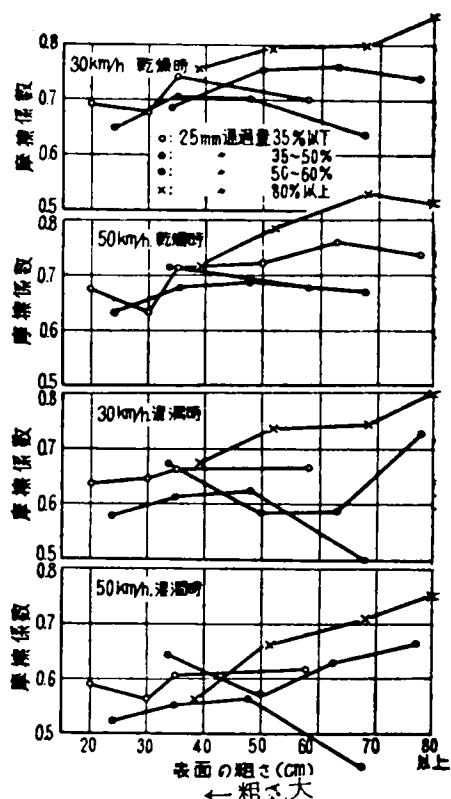


図4-31 アスファルトコンクリート舗装の表面粗さと摩擦係数

11 参照)

温度の影響については、温度の上昇と共に摩擦係数は減少し、40℃程度からはほぼ一定となる。速度の影響は非常に大きく、速度の増大と共に摩擦係数は減少する。タイヤトレッドの影響も大きく、フラットなタイヤおよび摩耗したタイヤは摩擦係数は小さくなる。図4-17によるとトレッドの摩耗が80%以下のときは湿潤時のすべり摩擦には大きい影響はあたえないようである。湿潤路面では排水性としてトレッドパターンが影響するので、すべりの方向も問題となり、一般に縦すべりよりも横すべり(最大値)摩擦係数が小さくなる。路面の粗さと摩擦係数の関係は排水性を考慮すると、粗い路面の方がよいように考えられるが、実際には排水性はタイヤトレッドでほぼ決定し、路面粗さにはあまり関係しない。図4-30、図4-31⁷⁾によると、コンクリート舗装ではいくぶん平滑な路面が摩擦係数が小さくなっているが、アスファルト舗装ではあまりはっきりした関係はえられていない。湿潤時の水膜の厚さおよびすべり速度と摩擦係数については色々実験されているが、なかなか定量的に把握することは困難である。

〔3〕 高速走行時のハイドロプレーニング

われわれが普通に論じている湿潤状態は散水車で散水して湿潤路面を作り、摩擦係数を測定したものである。しかしハイドロプレーニングはタイヤが厚い水の層の上を高速で通過するとき、一種の水上スキーのような現象を起すことであって、いままでにも航空機の着陸の場合に問題とされていた。一般道路上では100km/h前後というような高速走行はあまりないので問題とされなかったが、高速自動車道の出現により、ハイドロプレーニングが道路のすべりに関係してくるようになった。ここでは主として諸外国の資料についてのべる。

W. B. Horne と *T. J. W. Leland*⁸⁾ は航空機タイヤについて研究しトレッドのデザインとか流体の粘性を無視すればタイヤが滑水する速度は次のようになる。

$$F = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

$$\therefore V = \sqrt{\frac{F}{A} \cdot \frac{2}{c \cdot \rho}} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

(4-2) 式で $F/A = p$ とすると

$$V = \sqrt{\frac{2}{c} \cdot \frac{p}{\rho}} \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

ここでは F はタイヤに働く鉛直力、 A はタイヤの接触面積、 V は速度、 ρ は密度、 c は浮力係数である。

また $W E Meyer$ ⁹⁾ は

$$F = 2 \cdot h \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{\tau}{a} \cdot V^2 \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

$$\therefore V = \sqrt{\frac{F}{2 \cdot h \cdot \rho \cdot b \cdot \frac{\tau}{a}}} \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

(4-5) 式において $F = 1.2 \times a \cdot b \cdot p$ (1.2 はタイヤカーカスの荷重負担による割増し)

$$\therefore V = \sqrt{0.6 \cdot \frac{1}{h \cdot \rho} \cdot \frac{a^2}{\tau} p} \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

また $a^2 \doteq 2 r \cdot h$ であるから

$$V = \sqrt{1.2 \cdot \frac{p}{\rho}} \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

ここで h は水膜の厚さ、 b はタイヤの接地巾、 a はタイヤの接地長、 r はタイヤの半径である。実際には速度の増大と共にまずタイヤの前の方が浮上り、さらに速度が増大すると、ついに全体が浮上って滑走することになる。 $Meyer$ の実験では 7.50×1.4 の乗用車用タイヤで、空気圧 24 psi の場合 30 mile/h で浮上り始め、完全に滑走するには水膜の厚さを 1 mm とすると 200 mile/h 以上の速度が必要であるとしている。

また $W B Horne$ と $Dreher, Robert C.$ ¹⁰⁾ は実験をくりかえし、水の層が十分厚い場合完全なハイドロプレーニングを起す最小速度とタイヤ圧の関係を次の如く発表している。

$$V = 10.35 \sqrt{p} \quad \dots\dots\dots (4-8)$$

ここで V は mile/h 、 P はタイヤ内圧で psi 単位とする。 V を Km/h に直すと

$$V = 16.656 \sqrt{p} \quad \dots\dots\dots (4-9)$$

普通タイヤの内圧を $25 \sim 30 \text{ psi}$ とすると $80 \sim 90 \text{ Km/h}$ でハイドロプレーニングを起すことになる。

さらに *W B Horne* と *Upshur T. Jeyner*⁽¹¹⁾ は水膜の厚さを一定にした試験装置による実験を行い図 4-32、図 4-33 の如き結果をえている。図において平滑コンクリート面とは特にコテで平らに仕上げたものであり、粗いコンクリート面はサンドブラスト仕上げであるが、われわれが普通に扱っている道路面は粗いコンクリート面に相当すると考えられる。この図からも明らかなようにハイドロブレーニングを起す速度は^{平滑}タイヤトレッドと水膜の厚さが 7.5mm のときには比較的明瞭であるが、水膜が 1.8mm の場合には非常に高速でないと起らないと考えられる。これは先の *Meyer* の報告とも一致する。

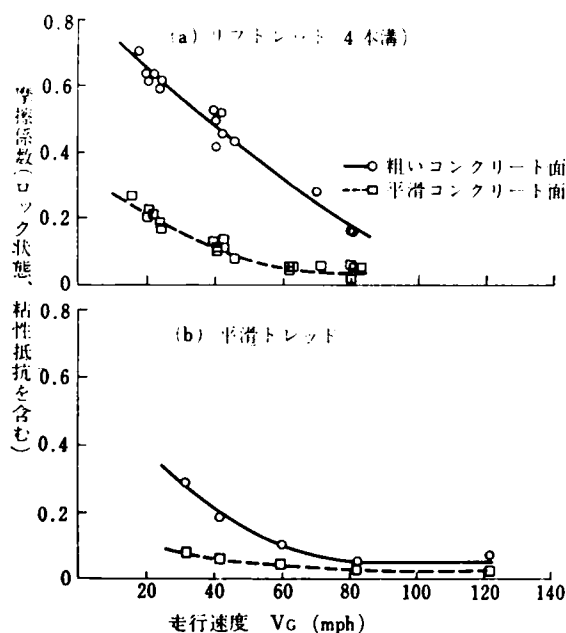


図 4-32 速度と摩擦係数(水深 0.04 インチ、6.50—13 乗用車タイヤ、輪重 835 ポンド、タイヤ内圧 27 ポンド/平方インチ、*W. B. Horne* dv. *T. Jeyner*)

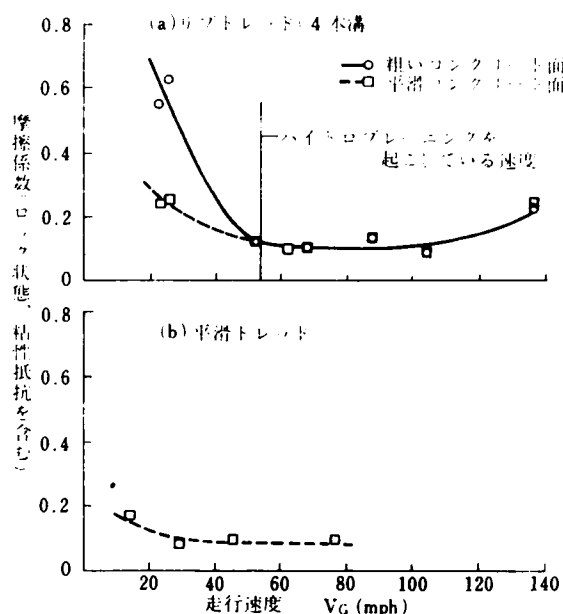


図 4-33 速度と摩擦係数(水深 0.3 インチ、6.50—13 乗用車タイヤ、輪重 835 ポンド、タイヤ内圧 27 ポンド/平方インチ、*W. B. Horne* dv. *T. Jeyner*)

Charles J. Coven と *Nicholas M. Trivisonno*⁽¹²⁾ は液体中をタイヤが沈降するときの速度について各種実験を行い、走行速度と沈降深さとの関係からハイドロブレーニング速度を計算した。

まず走行中液体がタイヤにあたえる上向圧力は

$$P_H = \frac{\rho \cdot b \cdot V^2 \cdot R \cdot \lambda}{3 \cdot g} \dots\dots\dots (4-10)$$

ここで λ は形状係数であり

$$\lambda = \sqrt{\left(\frac{L_c}{2R}\right)^2 - \left(\frac{H}{R}\right)^2} + \frac{2H}{R} \sqrt{1 - \left(\frac{L_c}{2R}\right)^2} - \frac{L_c}{2R}$$

一方沈降深さと圧力の関係は実験式として

$$P_H = 700 - \frac{0.560}{L_c} \cdot H^{0.286} \cdot V \dots\dots\dots (4-11)$$

ここで P_H はタイヤに働く上向圧力、 ρ は水の密度、 b はタイヤ巾、 R はタイヤの半径、 L_c はタイヤの接触長さ、 H は水深、 g は重力の加速度、 V は走行速度（単位はインチおよび MPH）この（4-10）（4-11）式を等しいと置いて V と H の関係をうる。えられた結果の一部は表 4-4 ~ 6、の通りである。この結果によると普通の状態でハイドロブレーニングが起るのは水深 0.1 インチで 226 マイル、水深 0.3 インチで 140 マイルとなり、先の *Horne and Jeyner* の実験結果に比して高速でないと起らなく、*Meyer* の推定に近い値になっている。

これら各種の実験結果とわが国の名神高速自動車道の湿潤状態のものを比較してみると、名神の各速度に対する値と図 4-32 の値（水深 0.04 インチ）および表 4-5 の水深 0.1 インチに対する値は大体一致している。したがって普通湿潤状態に対する名神高速道路の 100 Km/h、120 Km/h に対する推定も容易である。しかし水の層が厚い場合のハイドロブレーニングについては、ここにあげた各種の研究結果の相互間にも相当の差があるので簡単に結論はえられない。しかし水の層が厚くなるほどハイドロブレーニングを起す速度は小さくなり、一定速度の場合摩擦係数は次第に小さくなることは明らかである。

表 4-4 速度と摩擦係数 (Coven-Trivisonno)

スムーズタイヤ、粗い路面

粘性係数 η C P	水深 In	ハイドロブ レーニング を起す速度 MPH	ま さ つ 係 数					60MPH での制動 停止距離 Ft
			20 MPH	40 "	60 "	80 "	100 "	
0.914	0.1	206	0.581	0.435	0.318	0.229	0.164	275
	0.3	127	0.545	0.371	0.234	0.128	0.043	330
	0.5	103	0.523	0.334	0.184	0.068	0	379
	1.0	78	0.485	0.226	0.096	0	0	526
1.57	0.1	194	0.579	0.431	0.311	0.222	0.155	282
	0.3	120	0.541	0.363	0.223	0.116	0.028	334
	0.5	98	0.517	0.322	0.169	0.048	0	399
	1.0	74	0.480	0.258	0.084	0	0	543
5.00	0.1	146	0.568	0.401	0.274	0.176	0.101	296
	0.3	92	0.512	0.313	0.158	0.037	0	411
	0.5	75	0.483	0.262	0.091	0	0	572
	1.0	59	0.427	0.166	0	0	0	∞

表 4-5 速度と摩擦係数 (Coven-Trivisonno)

模様つきタイヤ、スムーズ路面

粘性係数 η C P	水深 In	ハイドロブ レーニング を起す速度 MPH	ま さ つ 係 数					60MPH での制動 停止距離 Ft
			20 MPH	40 "	60 "	80 "	100 "	
0.914	0.1	226	0.591	0.451	0.334	0.254	0.194	267
	0.3	140	0.561	0.399	0.270	0.172	0.090	302
	0.5	114	0.544	0.369	0.231	0.125	0.040	327
	1.0	88	0.512	0.314	0.158	0.037	0	409
1.57	0.1	217	0.589	0.447	0.333	0.247	0.185	264
	0.3	135	0.558	0.393	0.262	0.162	0.084	308
	0.5	110	0.540	0.363	0.223	0.110	0.029	337
	1.0	84	0.508	0.307	0.149	0.027	0	405
5.00	0.1	170	0.576	0.425	0.305	0.214	0.145	282
	0.3	110	0.539	0.361	0.220	0.112	0.025	349
	0.5	92	0.519	0.325	0.173	0.055	0	387
	1.0	72	0.490	0.275	0.107	0	0	497

表中、粘性係数 0.914 は 24℃ の水の状態、1.57 は 4℃ の水の状態、5.00 は泥土の多い水の場合の数値である。

表 4-6 速度と摩擦係数 (Coven-Trivisonno)

スムースタイヤ、スムース路面

粘性係数 μ CP	水深 In	ハイドロブ レーニング を起す速度 MPH	ま さ つ 係 数					60MPH での制動 停止距離 Ft
			20 MPH	40 "	60 "	80 "	100 "	
0.914	0.1	198	0.579	0.431	0.311	0.221	0.155	275
	0.3	122	0.541	0.366	0.226	0.119	0.032	330
	0.5	100	0.519	0.325	0.173	0.055	0	385
	1.0	76	0.480	0.258	0.085	0	0	544
1.57	0.1	181	0.573	0.420	0.298	0.198	0.135	287
	0.3	114	0.536	0.355	0.228	0.102	0.013	349
	0.5	93	0.510	0.310	0.154	0.032	0	415
	1.0	71	0.472	0.244	0.066	0	0	685
5.00	0.1	118	0.544	0.369	0.230	0.125	0.040	328
	0.3	79	0.490	0.275	0.107	0	0	483
	0.5	66	0.458	0.218	0.032	0	0	883
	1.0	52	0.414	0.142	0	0	0	∞

§ 4 5 走行速度および温度とすべり摩擦係数

路面条件、タイヤ条件を一定にした場合摩擦係数は速度と温度の関数^教となると考えられる。逆にある路面のすべり摩擦係数実測値は速度と温度の補正をしなければ他の摩擦係数値と比較することはできない。土木研究所の試験走路を中心に測定したデータによって速度および温度とすべり摩擦係数の相関を求めたので以下にのべる。

(1) 速度と摩擦係数

速度が大きくなると摩擦係数が小さくなることは明らかである。その状況を実測値から図 4-34 ~ 図 4-37^{13) 14)} に示す。しかも速度と摩擦係数は一次比例でないことも推定できる。したがって解析に当っては二次式とした。図 4-34、図 4-35 でおのおのの速度の増大につれて摩擦係数が低下することは明らかであるが、しかも数多くの線が巾広い範囲に分散している。これは路面状況、タイヤ状況の外に温度の影響が大きいと考えられる。これに反して図 4-36、図 4-37 は温度の差があまりないので比較的巾狭い範囲に

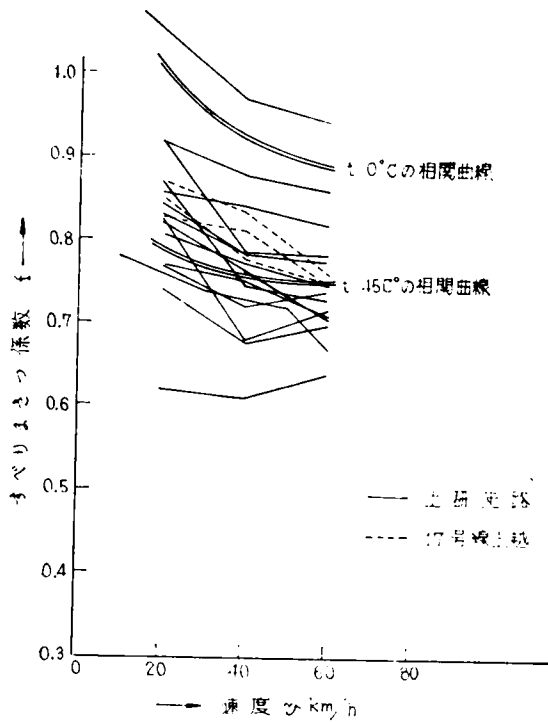


図 4-34 速度と摩擦係数の関係
(乾燥、コンクリート舗装)

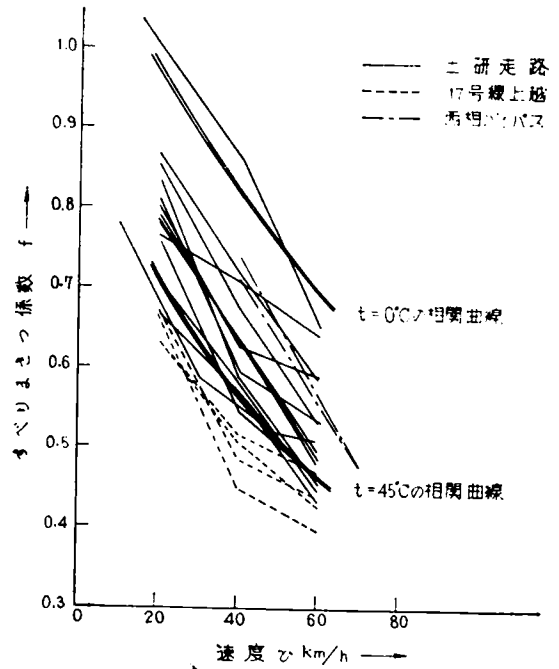


図 4-35 速度と摩擦係数の関係
(湿潤、コンクリート舗装)

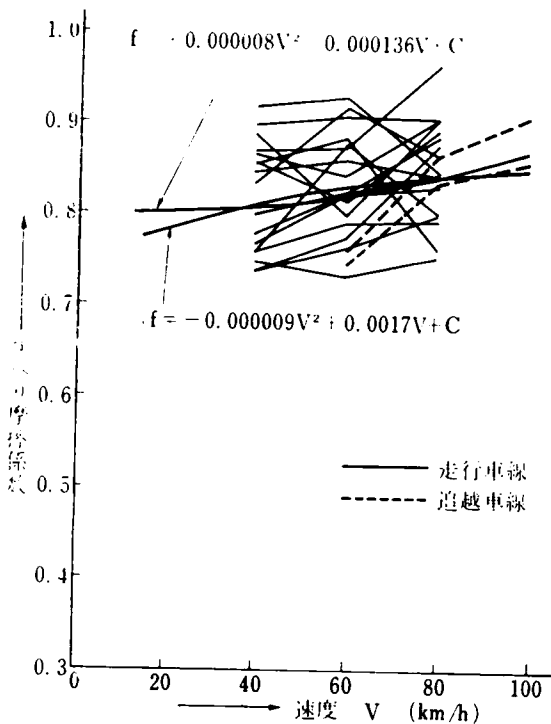


図 4-36 速度と摩擦係数の関係(名神、乾燥)

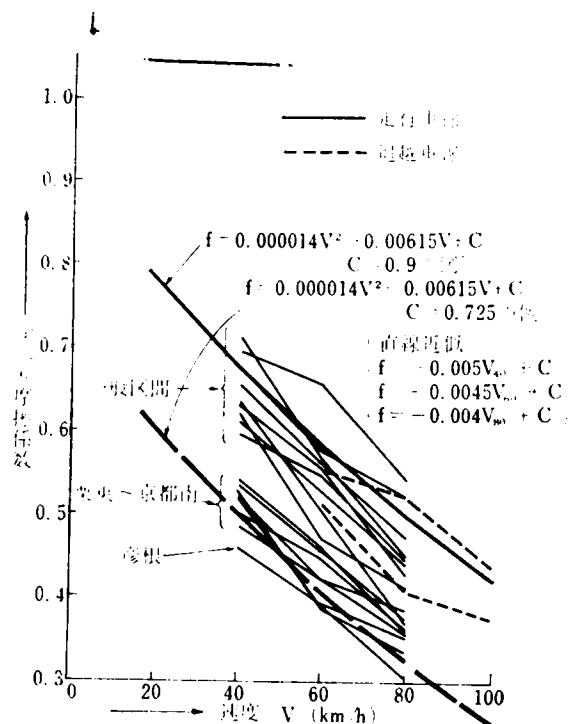


図 4-37 速度と摩擦係数の関係(名神、湿潤)

分布している。

〔2〕 温度と摩擦係数

諸外国の資料によってもすべり摩擦係数は温度に影響されることは明らかであるが²⁾、定量的にはなかなか決定しにくいのである。わが国の測定結果からも温度の影響があることは明らかである。しかしすべり摩擦に影響する温度は外気温であるか、タイヤ温度であるか、または路面温度であるかが問題である。図4-38はタイヤ温度とすべり摩擦係数との関係を実験した結果である。図4-38(a)は昭和40年11月1日に行なった2つの実験の結果である。まず試験タイヤを恒温槽に入れて100℃に加熱し、これを取りだして摩擦係数を測定したものである。第1回の実験×印では温度の低下と共にいくぶん摩擦係数は上っているようであるが、その差は50℃で0.05程度すなわち1℃につき0.001であり、ほとんど影響ないと考えてよい。第2回目の◎印実験ではむしろ高温の時の方が摩擦係数が大きくなっている。ゴムの性質上十分ありうることであるが、実用の70～80℃の所ではあまり影響がないと考えてよい。前回の実験を再度検討するため昭和40年11月18日および昭和40年11月24日に同様の実験を行なった。その結果が図4-38(b)、図4-38(c)である。この場合もあまり明瞭な関係はえられなかった。図4-38(d)は人工的にタイヤ温度を変化させたものではなく、一般的なすべり測定を行なった後タイヤ温度を測定記録したものである。この場合にもタイヤ温度と摩擦係数の間にはあまり相関はないようである。以上を総合して40℃～100℃の範囲におけるタイヤ温度はあまりすべり摩擦係数には影響しないと考えてよい。100℃以上の場合はこの実験からは明らかではないが、特別の場合以外は起りえない状況であり、傾向としてはすべり摩擦係数が大きくなる安全側にあるようであるので、ここでは問題にしないことにする。一方40℃以下の場合は制動前のタイヤ温度は一般に外気温と路面温度に相関する。外気温と路面温度のいずれがすべり摩擦係数に関係するかについては、外気温と路面温度は大体一致しているので、いずれをとっても大差はないと考えられる。しかし実際は摩擦を起しているのはタイヤと舗装面の間であり、日光の直射を受けている所と日蔭部分では温度の影響にも差があるので、結局路面温度をとることにした。各速度に対する路面温度

とすべり摩擦係数の関係を示したのが図4-39、図4-40である。この場合も温度の影響は直線的ではないと思われるので二次式とした。

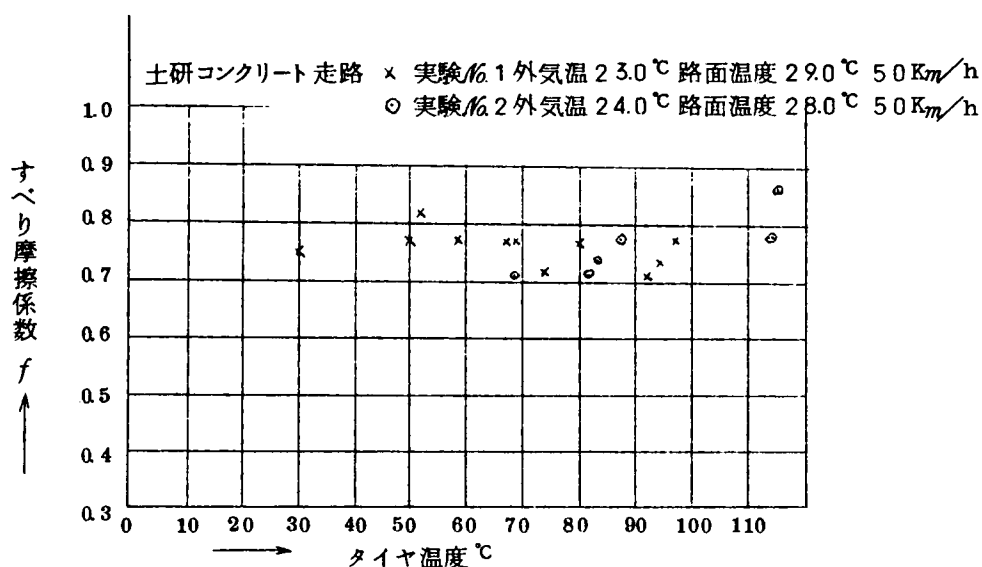


図4-38(a) タイヤとすべり摩擦係数 (その1)
(タイヤを加熱して実験したもの 昭和40.11.1)

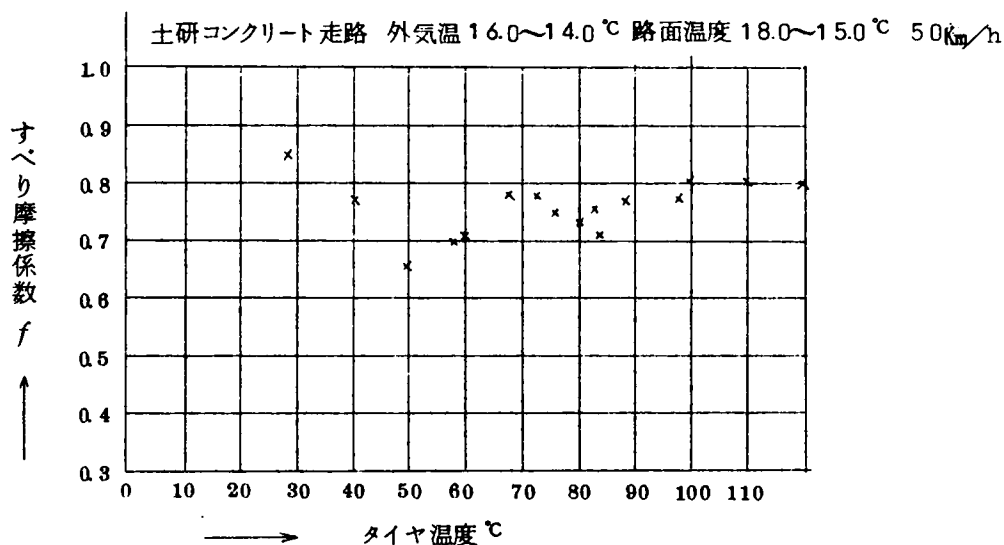


図4-38(b) タイヤとすべり摩擦係数 (その2)
(タイヤを加熱して実験したもの 昭和40.11.18)

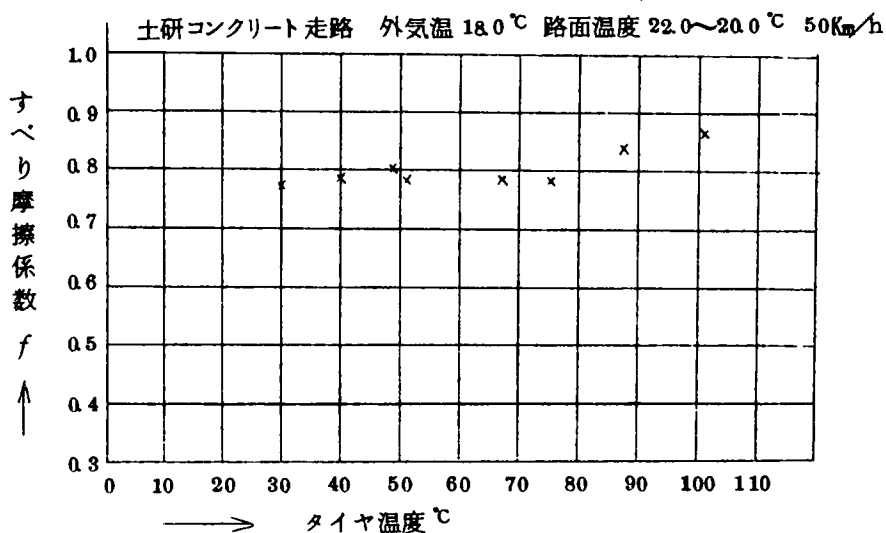


図4-38(c) タイヤ温度とすべり摩擦係数 (その3)

(タイヤを加熱して実験したもの 昭和40.11.24)

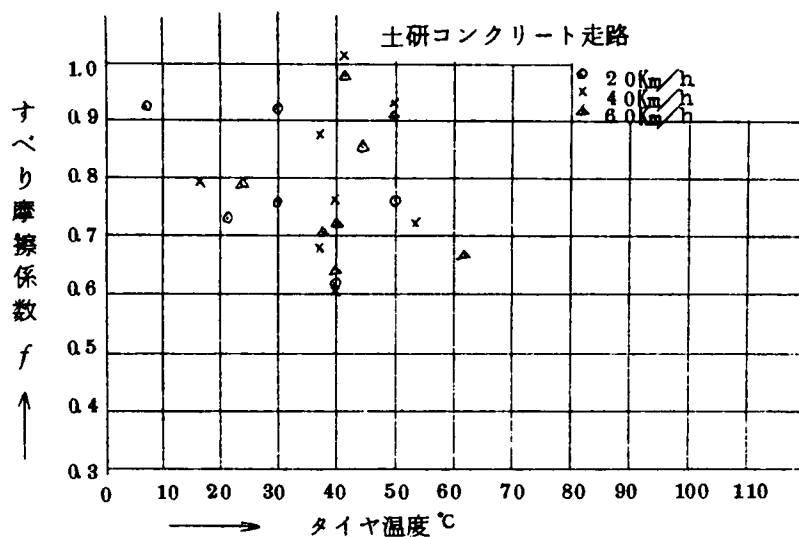


図4-38(d) タイヤ温度とすべり摩擦係数 (その4)

(一般観測値 昭和40年~41年)

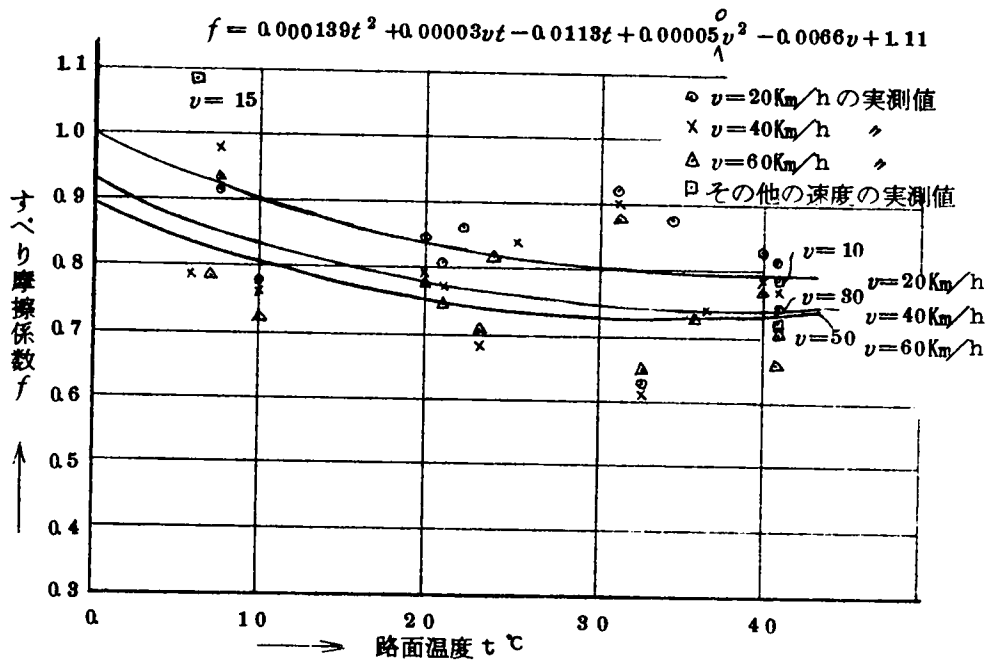


図4-39 すべり摩擦係数相関図 (コンクリート舗装、乾燥)

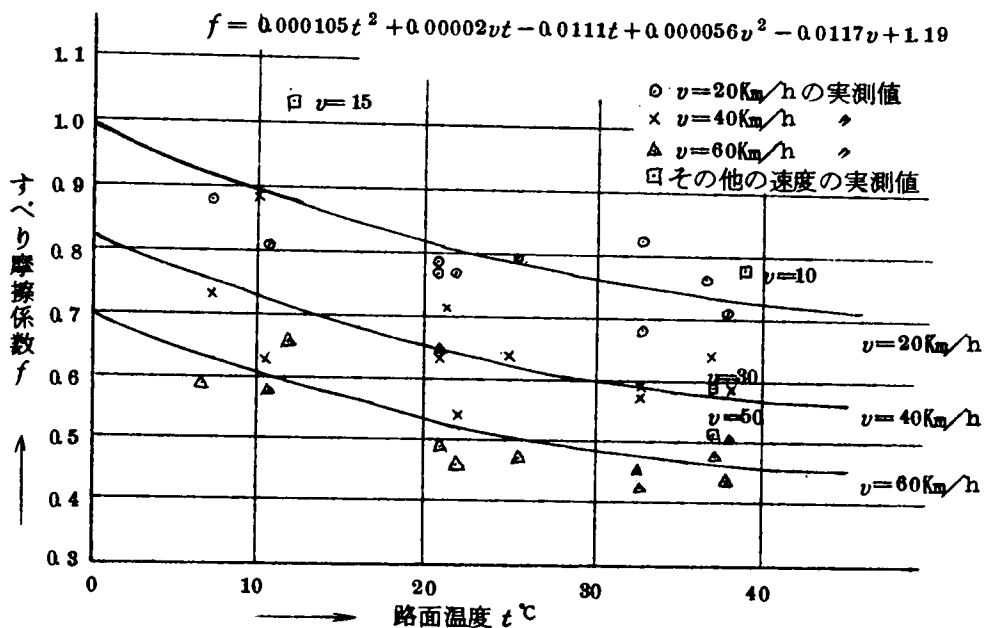


図4-40 すべり摩擦係数相関図 (コンクリート舗装、湿潤)

〔3〕 温度および速度と摩擦係数の相関式

土木研究所の試験走路でえられた資料によって相関式を計算すると次の通りである。

コンクリート舗装、乾燥路面について

$$f = 0.000139t^2 + 0.000003vt - 0.0113t + 0.000005v^2 - 0.0066v + 1.11$$

..... (4-12)

コンクリート舗装、湿潤路面について

$$f = 0.000105t^2 + 0.000002vt - 0.0111t + 0.000056v^2 - 0.0117v + 1.19$$

..... (4-13)

ここで f は路面のすべり摩擦係数、 t は測定中の路面温度、 v は制動時の速度である。このえられた式と与えたデーターとの残差は乾燥路面について 0.083、湿潤路面について 0.064 である。この相関式を $v=20$ 、 $v=40$ 、 $v=60$ のものについてえがくと図 4-39、図 4-40 の実線の通りである。この測定に使用したタイヤは S.B.R. 合成ゴム製のブリヂストン、リブタイヤ、640-15、4PR、空気圧 26 ポンドのものである。トレッド面は新品またはこれに近い状態のものを使用した。制動時の速度は初速度ではなく、制動中も一定に保って実験したものである。

(1) 速度と摩擦係数の相関の解析

a. 乾燥路面について

(4-12)、(4-13) 式から $\partial f / \partial v$ を求めると

$$\frac{\partial f}{\partial v} = -(0.0066 - 0.000003t) + 0.0001v \quad \text{..... (4-14)}$$

$t = 0^\circ \text{C}$ の場合

$$\frac{\partial f}{\partial v} = -0.0066 + 0.0001v \quad \text{..... (4-15)}$$

したがって $v = 66 \text{ Km/h}$ で $\partial f / \partial v = 0$ となる。

$t = 40^\circ \text{C}$ の場合

$$\frac{\partial f}{\partial v} = -0.0054 + 0.0001v \quad \text{..... (4-16)}$$

したがって $v = 54 \text{ Km/h}$ で $\partial f / \partial v = 0$ となる。一般に乾燥路面については速

度の摩擦係数に対する影響はわずかではあるが、(4-14)式の通り、速度の増加と共に減少し、60 Km/h 前後で 0 となる。ここで 20、40、60、80 Km/h に対する速度と摩擦係数の変化の近似式を求めると

$t = 0^{\circ}\text{C}$ の場合

$$\left. \begin{aligned} f_d &= -0.0046 v_{20} + C \\ f_d &= -0.0026 v_{40} + C \\ f_d &= -0.0006 v_{60} + C \\ f_d &= +0.0014 v_{80} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-17)$$

$t = 40^{\circ}\text{C}$ の場合

$$\left. \begin{aligned} f_d &= -0.0034 v_{20} + C \\ f_d &= -0.0014 v_{40} + C \\ f_d &= +0.0006 v_{60} + C \\ f_d &= +0.0026 v_{80} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-18)$$

いずれも速度の変化に対する摩擦係数の変化は少ない。とくに 40°C の場合ほとんど変化はないと見てもよい。

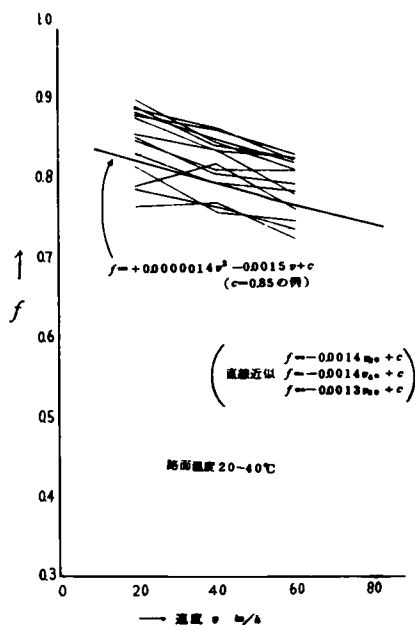


図4-41 速度と摩擦係数の関係
(17号 アスファルト、乾燥)

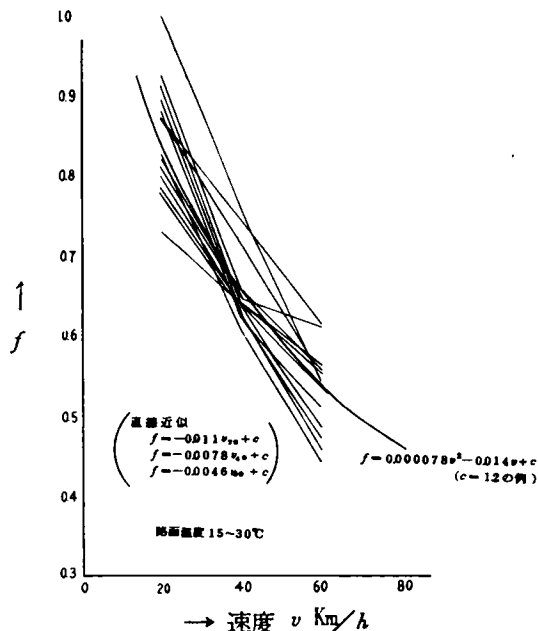


図4-42 速度と摩擦係数の関係
(17号 アスファルト、湿潤)

これを図4-41の国道17号線の実測データおよび図4-36の名神高速道路の実測データからえられた近似式と比較してみると国道17号線については、路面温度を20～40℃として

$$\left. \begin{aligned} fd &= -0.0014 v_{30} + C \\ fd &= -0.0014 v_{40} + C \\ fd &= -0.0013 v_{60} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-19)$$

名神高速道路においては、路面温度30～40℃として

$$\left. \begin{aligned} fd &= +0.0005 v_{30} + C \\ fd &= +0.0008 v_{40} + C \\ fd &= +0.0011 v_{60} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-20)$$

これらを総合すると、各々の近似式の大体の傾向は同じであって、路面温度が低く、速度の低い所では直線の勾配は-0.0026～-0.0014であり、路面温度が上昇し、速度が大きくなるにつれて、直線の勾配は小さくなり、さらに路面温度が高く、高速になると直線の勾配はわずかではあるが正になる。しかし全体的に摩擦係数の変化値は小さく、ほとんど変化はないと考えてもよい。ただ路面温度が0℃に近く、しかも走行速度が40Km/hより小さい場合は、比較的大きい摩擦係数値がえられるので注意しなければならない。

h 湿潤路面について

(4-12)、(4-13)式から $\partial f / \partial v$ を求めると

$$\frac{\partial f}{\partial v} = -(0.0117 - 0.00002t) + 0.00011v \dots\dots (4-21)$$

$t = 0^\circ\text{C}$ の場合

$$\frac{\partial f}{\partial v} = -0.0117 + 0.00011v \dots\dots\dots (4-22)$$

したがって $v = 100\text{Km/h}$ で $\partial f / \partial v = 0$ となる。

$t = 40^\circ\text{C}$ の場合

$$\frac{\partial f}{\partial v} = -0.0109 + 0.00011v \dots\dots\dots (4-23)$$

この場合もほぼ 100Km/h で $\partial f / \partial v = 0$ となる。ここで20、40、60、80Km/hに対する速度と摩擦係数の近似式を求めると

$t = 0^{\circ}\text{C}$ の場合

$$\left. \begin{aligned} fw &= -0.0095 v_{20} + C \\ fw &= -0.0073 v_{40} + C \\ fw &= -0.0051 v_{60} + C \\ fw &= -0.0029 v_{80} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-24)$$

$t = 40^{\circ}\text{C}$ の場合

$$\left. \begin{aligned} fw &= -0.0087 v_{20} + C \\ fw &= -0.0065 v_{40} + C \\ fw &= -0.0043 v_{60} + C \\ fw &= -0.0021 v_{80} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-25)$$

いずれも速度の変化に対する摩擦係数の変化はかなり大きい。これをさきの国道17号線(図4-42)および名神高速道路(図4-37)でえられた近似式と比較してみると

国道17号線については、路面温度 $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ として

$$\left. \begin{aligned} fw &= -0.011 v_{20} + C \\ fw &= -0.0078 v_{40} + C \\ fw &= -0.0046 v_{60} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-26)$$

名神高速道路においては、路面温度 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$ として

$$\left. \begin{aligned} fw &= -0.005 v_{40} + C \\ fw &= -0.0045 v_{60} + C \\ fw &= -0.004 v_{80} + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-27)$$

これらを総合すると、いずれの近似式も大体の傾向は同じであり、路面の温度が低く、速度の低い所では直線の勾配は大きく、最大 -0.01 程度となり、温度が高く、速度が大きくなると順次勾配は小さくなってゆく。 40Km/h では大体 -0.007 程度であり、 60Km/h では -0.0045 程度でいずれもよく一致している。 80Km/h に対する勾配は、土研走路では実測していないので(4-27)の名神の数値がより正しいものと考えられる。したがって土研走路のデーターでは 100Km/h で変化しなくなると推定されたが、名神のデーターではさらに低下すると考えられる。これらについてはハイドロブレーニングの問題と共に今後検討する必要がある。

(2) 温度と摩擦係数の相関の解析

a 乾燥路面について

(4-12)式から $\partial f / \partial t$ を求めると

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 0.000278t + 0.00003v - 0.0113 \quad \dots\dots\dots (4-28)$$

t は $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 、 v は $10 \sim 100 \text{ Km/h}$ の範囲とすると (4-28) 式より

$$\frac{\partial f}{\partial t} \doteq 0.000278t - 0.0113 \quad \dots\dots\dots (4-29)$$

すなわち乾燥路面では、すべり摩擦係数に対する温度の影響は、温度の低い所では路面温度 1°C 増大するごとに、摩擦係数は約 0.01 減少する。この傾向は温度の上昇と共に小さくなり、 40°C 付近では温度の影響はほとんどなくなる。

b 湿潤路面について

(4-13)式から $\partial f / \partial t$ を求めると

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 0.00021t + 0.00002v - 0.0111 \quad \dots\dots\dots (4-30)$$

$t = 0 \sim 50^\circ\text{C}$ 、 $v = 10 \sim 100 \text{ Km/h}$ の範囲とすると (4-30) 式より

$$\frac{\partial f}{\partial t} \doteq 0.00021t - 0.0111 \quad \dots\dots\dots (4-31)$$

すなわち湿潤路面では、すべり摩擦係数に対する温度の影響は、ほぼ乾燥の場合と同様であり、温度の低い所では路面温度 1°C 増大するごとに、摩擦係数は約 0.01 減少する。この傾向は温度の上昇と共に小さくなり、 50°C 付近では温度の影響はなくなる。

§ 4 6 横すべり角と横すべり力

タイヤは自由に回転しながら、進行方向に対してタイヤの方向が θ° の角度をなしているときの、そのタイヤ面に直角方向の抵抗力を角度 θ° のときの横すべり摩擦力という。一般に横すべり角が増大するにつれて横すべり摩擦係数も増大し、ある角度以上になるともはや横すべり摩擦係数は増大しなくなる。この関係はさきに示した図 4-23 の通りである。ここで横すべり

摩擦係数の最大値はその状態（路面およびタイヤ）における縦すべり摩擦係数にほぼ等しいと考えられる。一方横すべり角と横すべり摩擦係数の関係は主としてタイヤの剛性によって支配されることが考えられるが、これらに関する実測値は図4-43～図4-46の通りである。図4-43は昭和34年に機械試験所のテストコース（コンクリート舗装）においてえられたもので、タイヤはリブタイヤ6.00×16である。図より横すべり摩擦係数率 $P = f/\theta \div 0.05$ であり、横すべり摩擦係数が最大となる角度（飽和角）は10°前後であった。図4-44は同じく昭和34年に横浜バイパス（コンクリート舗装）で行なわれたもので、使用タイヤは同じく6.00-16、6prラグタイヤである。横すべり摩擦係数は低速の場合いくぶん小さい値となっている。そして乾燥時にはその差は小さく、湿潤のとき大きい。これらは§4.5速度と摩擦係数で述べたことが原因と考えられる。図4-44より横すべり摩擦係数率 $p \div 0.06$ となり、飽和角は10°である。図4-45は昭和37年に箱根バイパスのアスファルト舗装について行なった実験であり、図4-46は同じく昭和37年に山中湖畔のコンクリート舗装について行ったものである。

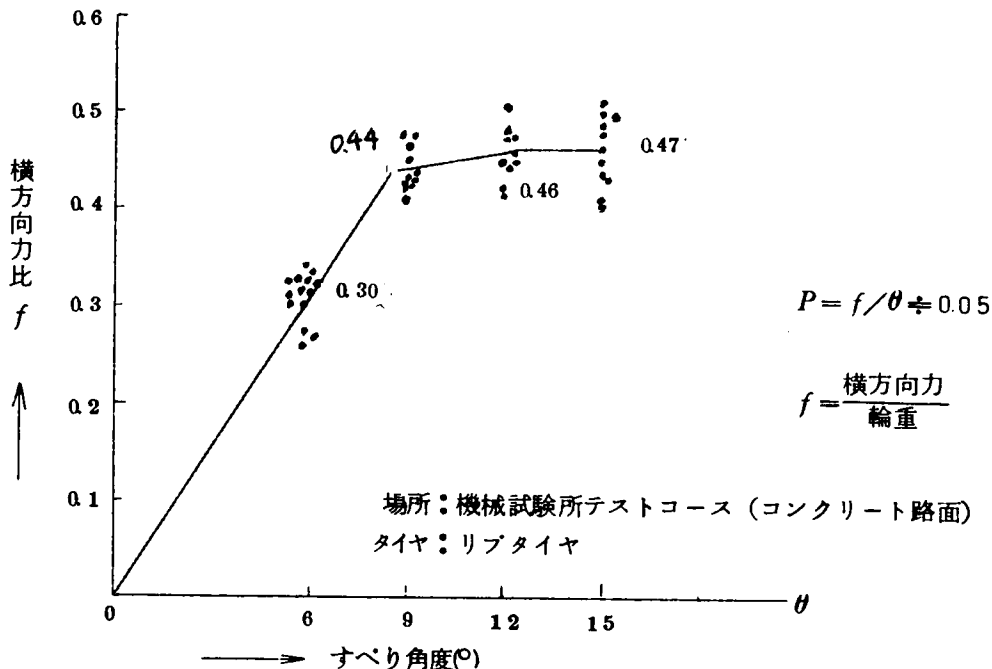


図4-43 横すべり角度と横方向力比との関係

特殊条件での実測であるのでかなりバラッキがあるが $P = 0.06 \sim 0.1$ となっている。図 4-47 は昭和 40 年に土木研究所の試験走路で実験したものである。6.00-16 リブタイヤ 4pr 速度 40Km/h のものである。この場合 $P \div 0.08$ であり 飽和角 は 15° 程度である。さきに示した図 4-23 の英国道路研究所のものは $P \div 0.055$ である。しかし 飽和角 は路面状況に応じ $5 \sim 20^\circ$ となっている。これらを総合すると普通乗用車程度のタイヤの横すべり摩擦係数率

p は $0.05 \sim 0.10$ の範囲であり、タイヤの剛性が強い場合に大きく、また走行速度の小さいときに大きい。最大横すべり摩擦係数は最大縦すべり摩擦係数にほぼ等しいものである。したがって最大横すべり摩擦に対するすべり角度はすべり摩擦係数の大きいほど大きくなる。横すべり摩擦係数と輪重との関係は図 4-48 のごとく輪重が増大すると摩擦係数は減少する。一方タイヤ内圧が増大した場合は横すべり摩擦係数率は増大する。

図 4-44(a) 横方向力比と横すべり角度との関係
(乾燥路面・ラグタイプ)

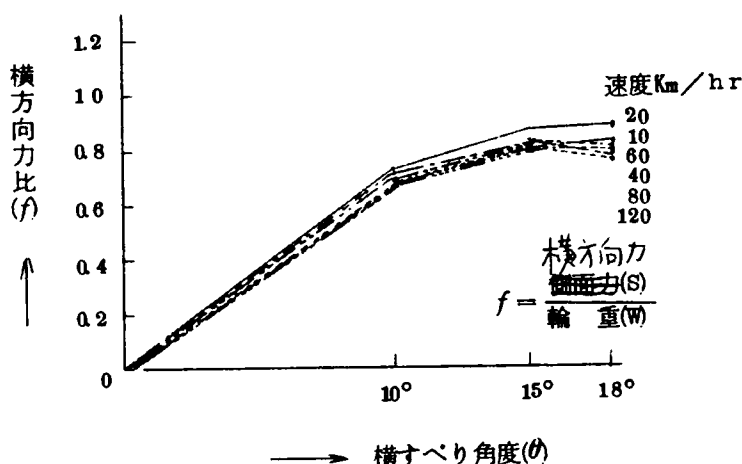
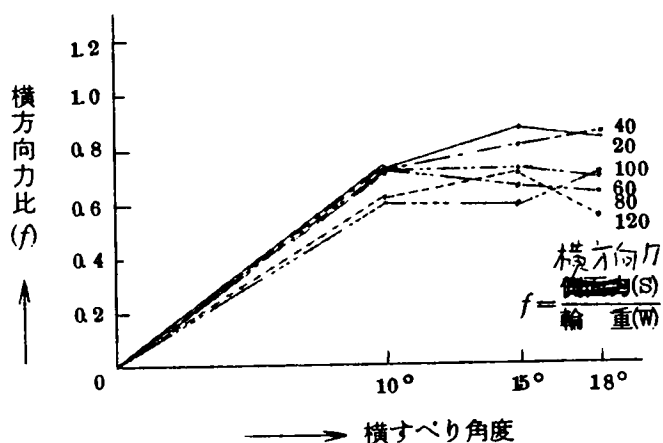


図 4-44(b) 横方向力比と横すべり角度との関係
(湿潤路面・ラグタイプ)



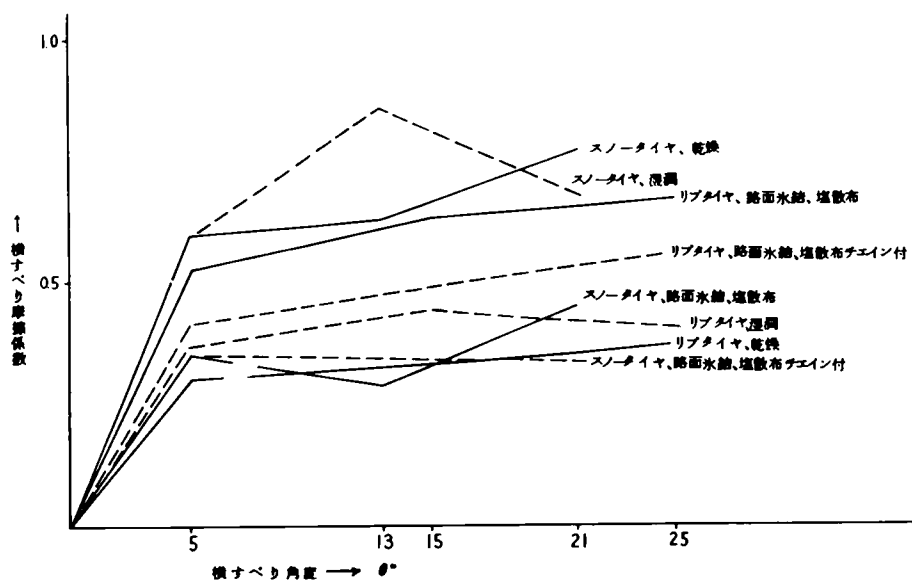


図 4-45 横すべり角と横すべり摩擦係数 (密粒アスコン、20 kN/車)

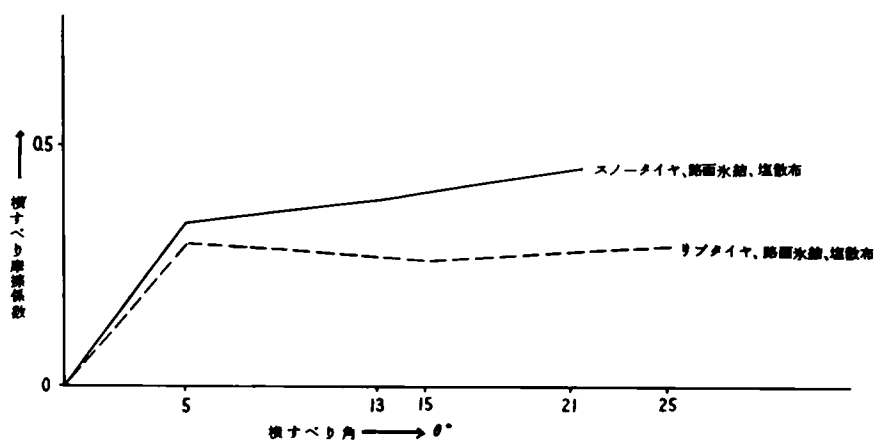


図 4-46 横すべり角と横すべり摩擦係数 (コンクリート舗装、20 kN/車)

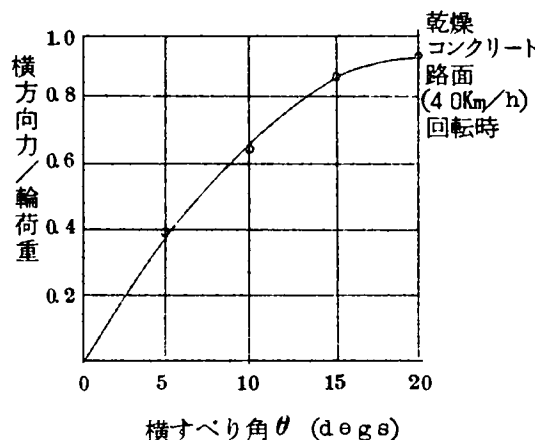


図 4-47 横すべり角と横方向力

§ 4.7 路面の粗度とすべり摩擦の関係

一般に路面の粗度とすべり摩擦係

数の関係は非常に密接であるように考えられがちであるが、実際には相当複雑である。第2章で一般論として説明したごとくすべり摩擦抵抗のうちの接着剪断抵抗は路面が平滑であるほど抵抗は大きくなる。一方タイヤゴムのヒステリシスロスによる抵抗は凹凸のある方が抵抗は大きい。しかしこの場合ヒステリシスのために必要な路面の凹凸は 0.1 mm 以下のオーダーであると考えられている。湿潤の場合には排水上からは凹凸の大きい方が摩擦抵抗上よいと考えられる。これらを総合して実際の数値を見ると、肉眼的な大きさの凹凸 (1.0 mm 以上) については乾燥状況では平坦な路面ほどすべり摩擦係数は大きく、湿潤状態では平坦な路面も凹凸のある路面もほぼ摩擦係数は等しいようである。さきに示した図 4-30、図 4-31 で見るとコンクリート舗装、アスファルト舗装共に乾燥時の摩擦係数は大体表面が平坦になるほど大きくなっている。しかし湿潤時はコンクリート舗装では平坦になると摩擦係数は減少している。アスファルト舗装では湿潤時も一般に路面が平坦になるほど摩擦係数は増大しているが、一部のものは平坦になった場合摩擦係数が低下している。摩擦係数が低下したものは主として合材の組成で 25 mm 通過

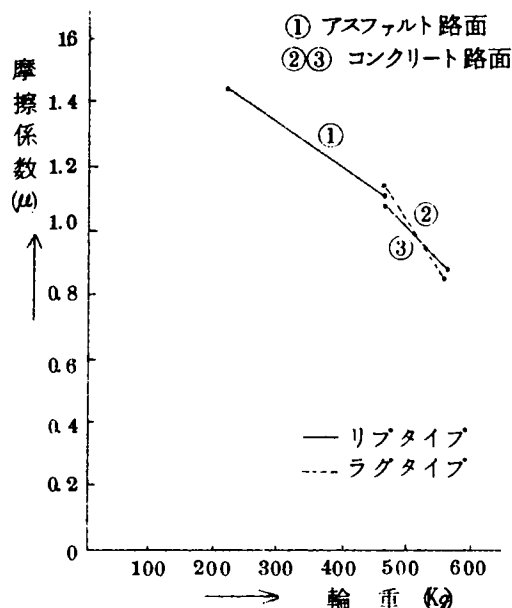


図 4-48 動的横すべり摩擦係数と輪重との関係
(乾燥路面タイヤ内圧 35 psi)

量が50%以下のもの、すなわち粗粒アスコンが主であって、この場合の平坦さはフラッシュによる真の平滑な状態が含まれていると考えられる。この現象は現在行なわれているいわゆるすべり止め舗装と称せられている凹凸の多いオーブングレイドのものが、あまりすべり止め効果のないことによって証明される。(これについては次節でのべる)

§ 4 8 舗装の種類とすべり摩擦係数

現在行なわれている道路舗装では、その種類によってすべり摩擦係数が一方的に決定されることはない。反対に同一種類の舗装であっても、配合および材質に応じてすべり摩擦係数は広い範囲にわたっている。しかし乾燥時のすべり摩擦係数はいずれの種類のもので、いずれの配合、材質のものであってもほぼ0.5以上であって安全走行上問題はない。したがって主として湿潤時の摩擦係数が問題となるのである。湿潤時の摩擦係数の主要部を構成するのは、主として舗装表面の骨材の質と面積率であると考えられる。配合によってどのような骨材表面がえられ、その骨材がどのような性質のものであるかが最も重要な問題である。

〔1〕 コンクリート舗装について

別表によるとほとんどのコンクリート舗装の湿潤時の摩擦係数は 60 Km/h に換算して $0.45 \sim 0.8$ の範囲にあり、さらにこれを路面温度 35°C に換算するとほとんど $0.45 \sim 0.55$ の範囲となる。すなわちコンクリート舗装のすべり摩擦係数は測定条件が同一であればほぼ同一の値となり、配合および材質その他表面状態の良否による差は0.1程度である。これは表4-3のセメントペーストのすべり摩擦係数からも推定される。すなわち普通骨材のみの良好な路面でえられると考えられる摩擦係数0.6程度のもので対して0.2のすべり摩擦係数をもつセメントペーストの部分が何パーセントあるかということになり、最悪の場合セメントペースト100%として0.2となり、普通50%以下とすると0.4よりは大きくなる。これらの状況を表4-7に示す。乾燥時の摩擦係数も 60 Km/h 、 35°C に換算すると大体一樣に $0.6 \sim 0.7$ の範囲となる。これはセメントペーストが標準状態で0.4であることから説明される。したがってコンクリート舗装で標準湿潤時の摩擦係数が0.45より小

さくなるような舗装は特別に大きい欠陥があるか、または多くの欠陥が重なった場合のみである。

表4-7 各種路面のすべり摩擦係数の標準状態換算値

(湿潤状態、大型道路試験車、リブタイヤ)

舗装種類	場 所	測 定 値			標準換算係数	摘 要
		速度	摩擦係数	路面温度		
コンクリート	17号 小 出	60	0.52	24.0	0.48	標準状態は 60Km/h 35℃ とする。
	17号 堀之内	60	0.43	22.4	0.38	
	土 研 走 路	60	0.46	33.0	0.45	
	名阪、関トンネル	50	0.58	13.0	0.43	
	名神、蟬丸トンネル	60	0.47	25.5	0.44	
	名神、山科、バスストップ	60	0.60	37.5	0.60	
	西湘バイパス	40	0.71	30.0	0.59	
アスファルト	17号 上 越					
	◇ ギャップ型	60	0.54	16.5	0.46	
	◇ 密粒アスコン	60	0.57	16.5	0.49	
	◇ プレコート	60	0.61	15.0	0.52	
	◇ ガムファルト	60	0.62	29.5	0.60	
	◇ ポリベープ	60	0.49	35.0	0.49	
	◇ 修正トベカ	60	0.51	40.0	0.52	
	◇ シートアスファルト	60	0.45	34.0	0.45	
	名 神 名 大 垣	60	0.56	37.0	0.56	
	◇ 山 科	60	0.42	36.0	0.42	
	◇ 茨 木	60	0.53	35.0	0.53	
	首都高速グース	50	0.39	38.0	0.40	
	◇ 密 粒	50	0.53	39.0	0.54	
	◇ オープン	50	0.49	37.0	0.49	
	20号 甲 府					
	◇ ト ベ カ	50	0.63	36.0	0.58	
	◇ ガムファルト	50	0.65	32.0	0.59	
	◇ ストレート	50	0.66	32.0	0.60	
	◇ ポリベープ	50	0.65	32.0	0.59	
	◇ RAセメント	50	0.65	33.0	0.59	
	名 阪 国 道					
	◇ ア ス コ ン	50	0.64	17.0	0.51	
	◇ すべり止め	50	0.62	10.0	0.44	

(2) アスファルト舗装について

アスファルト舗装のすべり摩擦係数はコンクリート舗装に比べて広い範囲にわたっている。これはアスファルトのみのすべり摩擦係数が湿潤時 0 に近いことに原因している。しかし普通に施工されたものの湿潤時摩擦係数はコンクリートの場合とほぼ等しく標準状態で (60Km/h 、 35°C) $0.4\sim 0.6$ 程度であり、その範囲はやや大きい。別表 2-8 ～別表 2-12 は土木研究所が 17 号線岡部町で行なった各種配合の比較試験である。別表 2-8 において No.24 のアスファルト 10.15% 混合のものだけは特に摩擦係数が小さくなっているが、これを除くと最大 0.9、最小 0.78 で大部分のものが 0.8 前後であり、これを標準状態に換算すると 0.47 となる。この中にはゴム混入アスファルト等特殊のものもあるがその差はあまりない。同様に結合材の種類による差を測定したものが別表 3-2 (20 号線甲府市内) である。これら各種の舗装のすべり摩擦係数はほとんど一様に 0.65 程度であり、これを標準状態に換算すると 0.6 となり一様に大変良好な舗装といえる。結合材の使用量がいずれも 4.8% と比較的少ないことがすべり摩擦上良好な結果となっていると考えられる。別表 3-14 ～29 は 17 号線上越管内のアスファルト舗装のすべり摩擦係数である。標準状態に換算するといずれも 0.45 前後である。一部 0.5 以上のものがあるが舗装の種類はブレコート、シートアスファルト、ガムファルト、密粒アスコン、修正トベカと多種であり、結合材や舗装の種類よりも、設計配合の良否が原因ではないかと考えられる。

別表 3-1 は 4 号線のすべり止め舗装の摩擦係数を測定したものである。乾燥時のみしか測定していないが、各々の場所について普通の密粒アスコンといわゆるすべり止め舗装との比較である。花巻市と福島市の部分を除いていずれも差はない。しかも花巻市と福島市の部分の密粒度アスコンは他の部分の密粒アスコンに比して特に小さくっており、すべり止め舗装は他の部分とほぼ同様である。したがってこの場合にも良好に施工されたアスファルト舗装は、いずれの工種でもすべり摩擦係数にあまり差はないが、密粒アスコンの場合施工によって特にすべりやすい表面になる危険があることに注意しなければならない。

別表 2-4、2-6、2-7 は首都高速道路のすべり摩擦係数の測定値である。

これらの表において密粒アスコン、オープングレイドおよびグースアスファルトを比較してみる。別表 2-4 では密粒アスコンとオープングレイドはいずれも 0.45 前後でほとんど等しい。別表 2-6 では 0.75 で標準換算でも 0.65 と良好であるが両者の差はなく、むしろ密粒アスコンの方が良好である。別表 2-7 では夏季のため最もすべり摩擦係数は小さくなっているが、密粒アスコンとオープングレイドの間に明らかな差は認められない。グースアスファルトはやや小さくなっている。同様な状況は別表 2-15 の名阪国道の舗装においても見られる。

別表 2-13 は千葉市宮野木で行なわれた各種簡易舗装試験のすべり摩擦係数である。この舗装は各種配合の外にシーラントの有無もあり、表面性状は多種多様である。測定された摩擦係数も 50km/h で大きいものは 0.65 ~ 0.7 と良好であるが、普通で 0.5 ~ 0.6 であり、特に小さいものは 0.3 ~ 0.2 となっている。これを標準状態に換算すると良好な路面は 0.5 ~ 0.55、普通路面は 0.35 ~ 0.45、悪い路面は 0.1 ~ 0.15 となる。もちろん 0.1 ~ 0.2 の路面は完全にフラッシュした状態である。

これらを総合すると⁽¹⁵⁾いわゆるすべり止め舗装と称してオープングレイドなものにしたり、ゴム混入等特殊なアスファルトを使用してもその効果はあまりなく、良好に施工された普通のアスコンと同様である。ただ普通に施工されたアスファルト舗装の中には配合等（粒度およびアスファルト量、シーラント等）の原因によって特にすべり摩擦係数の小さいものがあるのでこの点に注意しなければならない。

アスファルト舗装の乾燥時のすべり摩擦係数は全体に大きく、標準換算にて 0.5 ~ 0.8 程度であって安全走行上問題はない。これはアスファルトのみの乾燥時の摩擦係数が 0.4 であることから了解される。ただアスファルト舗装は気温、気象によって性状が変化するので同一舗装であっても、気温、気象によって摩擦係数が変化することに注意しなければならない。

(3) エメリーおよびシリカサンド舗装

すべり止め舗装の一種としてエメリー、シリカサンド等を骨材とし高級接着剤（エポキシ樹脂等）によって舗装表面に接着または混合舗設する工法がある。この工法の効果は最も大きく別表 3-11 の首都高速道路においては¹⁶⁾

B種（エメリー使用）で0.84～0.86、C種（エメリー、シノパール混合）で0.79～0.81と良好であり、これを標準状態に換算しても0.65程度で良好である。別表3-29は17号線でシリカサンドをエポキシ樹脂で混合舗設したものであるが0.8と良好であり、標準換算でも0.6と良好である。

さらに別表3-32、3-33、3-34もこれら骨材の接着舗装の測定値である。いずれも良好な結果をえている。これらを見ると、良質の骨材（エメリー等）を完全に接着した場合の、標準状態のすべり摩擦係数は0.6程度であり、普通の骨材（砂岩）を完全に接着した場合の標準状態のすべり摩擦係数は0.55程度と考えられる。ただこれらの舗装は工費が高く、しかも耐久性に乏しい欠点があり、タイヤの磨耗に対してもよくないので、特に危険な場所にのみ施工すべきである。

§ 4.9 季節変化とすべり摩擦係数

舗装は表面の磨耗および圧密作用について気象の影響をうける。したがって季節によって温度差によるすべり摩擦係数の変化の外に同一温度の場合であっても表面の状態は異なり、すべり摩擦係数もちがってくる。実際にすべり摩擦係数のうち温度の影響部分と季節的影響とを区別することは不可能であって、統計的に温度の影響として処理された以上のものを季節による影響と考えることにする。（温度の影響も含めた季節変化を考える人もいる）図4-49は英国道路研究所で発表²⁾された季節による変化を示すものである。しかしこの中には温度による影響も含まれていることに注意しなければならない。図4-50は土木研究所の試験走路のコンクリート舗装の経年変化の測定値およびそれを温度補正したものである。温度補正した結果はほとんど0.45となり、あまり季節のみによる影響はないと考えられる。図4-51は同じく土木研究所の試験走路のアスファルト舗装の経年変化の測定値およびそれを温度補正したものである。観測期間が短いので結論はでないが、さきのコンクリート舗装に比較して温度以外に季節の影響はあると思われる。図4-52は17号線岡部町の試験舗装の測定値であるが、やはり温度以外の季節の影響はあると思われる。これらアスファルト舗装の両者は共に5月、6月、7月頃の換算値が最も大きく、8月9月が小さくなっている。

以上を総合するとすべり摩擦係数は温度補正をしない季節変化ではもちろんアスファルト、コンクリート舗装共に冬季に大きく夏季に小さい。しかし温度補正をした後ではコンクリート舗装はあまり季節の影響はないが、アスファルト舗装は季節の影響を受け、春に大きく夏より初秋にかけて小さいと考えられる。この外実際の道路では季節によって一定の環境条件の影響を受けることもあり、例えば雨期と乾期とでは、雨期の方がすべり抵抗が大きい。それは油脂、塵埃などの量が雨期には洗滌されて少ないためである。

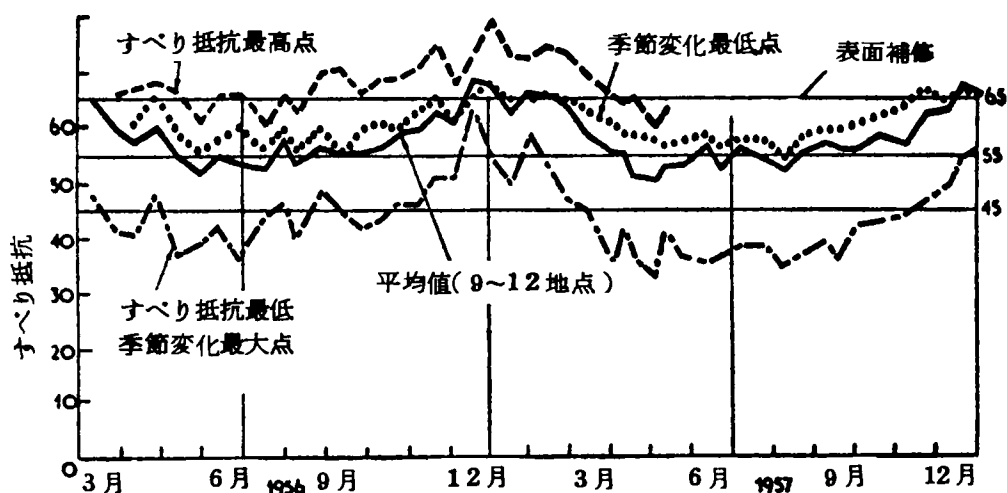


図 4-49 すべり抵抗の季節変化(2週間に1回の測定)

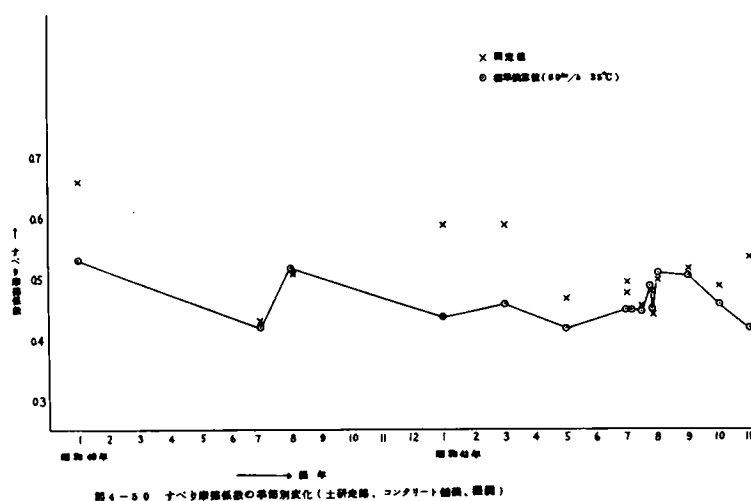


図 4-50 すべり摩擦係数の季節別変化(土研実地、コンクリート舗装、雨期)

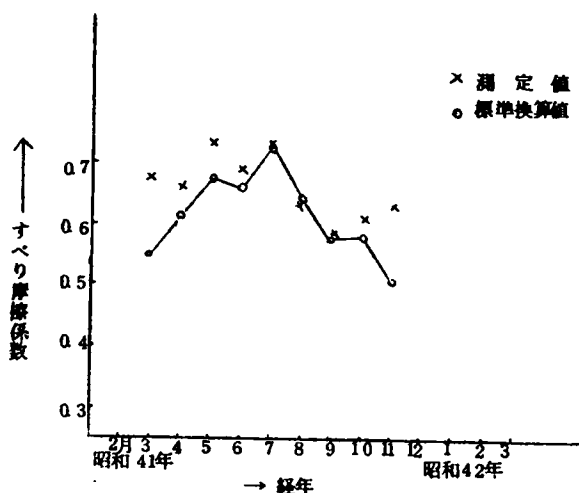


図4-51 すべり摩擦係数の季節別変化
(土研走路、アスファルト舗装、湿潤)

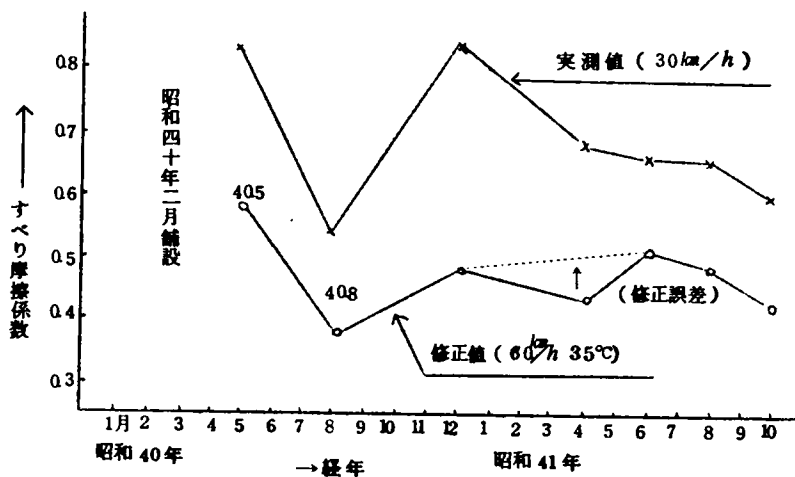


図4-52 すべり摩擦係数の季節別変化(17号線 岡部町 アスファルト舗装 10ヶの平均値、湿潤)

§ 4.10 路面の凍結とすべり摩擦係数

路面に積雪があったり、表面水が凍結したりした場合には、その路面のすべり摩擦係数は舗装面本来のものと全く異なり、完全に積雪または凍結状況

に左右される。冰雪路面のすべり摩擦係数の実測値は別表4に詳しくのべてある。これらのうちの主要なものをあげると表4-8の通りである。これから明らかなように氷結した平滑な面のすべり摩擦係数は0.1前後であり、完全に平滑な場合は0に近くなることもある。また新雪が薄く平滑に圧密されたときにも0.1~0.15になる。冬季間最も多く普通に見られる圧雪がやや平滑になったり、または氷盤状になったものは大体0.2~0.3のすべり摩擦係数をもっている。積雪が古くなってザラメ状になったものは0.3~0.5の摩擦係数になるが、これはすべり摩擦係数のみではなく、堆雪による走行抵抗が含まれている。良好に摩擦材(砂、チップ等)を散布した冰雪面の摩擦係数は0.3~0.4程度である。また冰雪上に少量の塩化物を散布すると摩擦係数は0.4前後に上昇することも観測されている。¹⁷⁾もちろん多量の塩化物を散布するか、加熱して冰雪を全部融解してしまえば本来の舗装面がでて摩擦係数も0.4~0.6と向上するのは当然である。

表4-8 冰雪路面のすべり摩擦係数

状 態	すべり摩擦係数値	速 度
氷 ~ 氷 盤	0.1 ~ 0.2	30~40km/h 平滑な氷または新雪 は0.1以下になるこ ともある。
新雪、氷に近い圧雪	0.2 ~ 0.25	
普 通 の 雪	0.25 ~ 0.30	
ざらめ雪、融け始めた雪	0.30 ~ 0.40	
積雪上に塩化物散布	0.35 ~ 0.45	
積雪上に砂散布	0.20 ~ 0.30	
積雪上に砂、塩化物混合散布	0.30 ~ 0.50	

§ 4.11 すべり摩擦係数の基準値

これまでのべたごとくすべり摩擦係数は諸種の要因によって複雑に左右され、なかなか定量的に把握しにくいものである。しかし自動車の安全走行を確保する上から路面のすべり摩擦係数を定値以上にするということは絶対に必要である。この意味でわが国においてもすべり摩擦係数の基準値を決定する必要がある。

すべり摩擦係数の基準値は二つの面より決定されると考えられる。一つはすべり摩擦係数を表わす、統一した基準の決定であり、次いでこの基準の下に走行性との関連において安全を確保できる限界値の決定である。

〔1〕 すべり摩擦の統一基準について

すべり摩擦係数に影響する諸要因のうち、まず簡単に統一できるものについては基準状態を決定することができる。

- (1) 制動状態については最大のすべり摩擦係数をうるすべり率（８０％前後）も考えられるが、実用上は１００％制動（完全ロック）を使用すべきである。
- (2) すべり方向は縦すべり摩擦と横すべり摩擦の二つが考えられる。横すべり摩擦係数の場合最大横すべり摩擦抵抗をうる横すべり角度が一定でないこと、および測定機が複雑になる。反面タイヤ踏面の形状的要素を加味すると最大横すべり摩擦抵抗は縦すべり摩擦抵抗とほぼ等しい。これらを考慮して縦すべり摩擦係数を基準にすべきである。
- (3) 制動中の速度は一定にすべきであり、わが国の場合一般の道路については６０Km/hが適当であると考える。６０Km/hの速度がえられない場合は§４.５の方法によって換算すべきである。この場合数種の速度について実測し統計的に６０Km/hに換算すべきであるが、簡単には前出の式（４－１３）
$$f = 0.000105t^2 + 0.0002vt - 0.0111t + 0.000056v^2 - 0.0117v + C$$
によって換算してもよい、さらに簡便を要するときは $f_w = -0.0045v_0 + C$ によって近似換算しても大差はない。しかし２０～３０Km/hの測定値から換算する場合は（４－１３）式によるべきである。
- (4) 路面状態はもちろん湿潤状態で測定すべきである。じんあいの有無も大いに影響するが、その程度を定量的に把握することが困難であるので特にじんあいをおかない普通の状態を測定することを標準とする。また湿潤状態としての水膜の厚さも大きい問題であるが、普通の降雨と普通の路面勾配を想定して、普通の散水車で十分に散水した直後の状態を標準とする。
- (5) 温度および季節による影響は相当大きいので、これについては絶対に統一しなければならない。今までの各種すべり摩擦に関する議論がなかなかまとまらなかったのは温度の要因を統一しなかったためであると考えられ

る。しかし季節の影響は § 4.9 のべたごとく温度の影響を除外するとそれ程大きいものではなく、また現在定量的に把握しにくいので一応考えないことにする。温度についてはすべり摩擦係数が小さくなる高温部を標準にすべきであり、わが国の夏季路面温度は日中で $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 程度であるので 35°C を標準としたい。また 35°C 付近では摩擦係数に対する路面温度差の影響もほとんどなくなっているのが都合である。もちろん 35°C の時のみで測定することは不可能であるので任意の温度で測定し、その測定値を (4-13) 式によって換算すべきである。

- (6) タイヤの状態については、最も普通に使用されるものを標準とすべきである。現在乗用車には SBR 合成ゴムが使用され、トラック、バス等には天然ゴムが使用されているが、それらのすべり摩擦係数の差はほとんどないので、SBR を主とした合成ゴムのリブタイヤを標準としてよい。

(2) すべり摩擦係数限界値の決定

道路のすべり摩擦係数の限界値を決定する場合の基準は二つある。一つは道路の幾何構造設計との関係であり、他の一つは事故との関係である。

(1) 道路の幾何構造との関係

現在一般に使用されている幾何構造の中で計算¹⁸⁾¹⁹⁾の基準となっているすべり摩擦係数は縦方向 60 Km/h 、湿潤で 0.32 程度であり、横方向は 0.15 である。実際の道路のすべり摩擦係数がこの数値よりいくらかでも大きい場合、道路構造としては安全設計といえる。しかしそれは同時に安全率 1.0 であって、安全のための余裕はあまりないことになるので、限界値はこれよりも大きくすべきである。

道路構造で縦すべり摩擦が問題となるのは視距の決定である。視距 $S = v \cdot t + \frac{v^2}{2g \cdot f}$ なる式によっている。ここで $v \cdot t$ の項は制動おくれの間に走る距離であり、 $\frac{v^2}{2g \cdot f}$ はいわゆるすべりながら停止するまでに必要な距離である。ここで t と f が問題になるわけであるが、構造¹⁹⁾では安全側をとって $t = 2.5$ 秒とし f は速度に応じて上述の $0.3 \sim 0.4$ として計算している。一般に緊張して急制動を行なう場合は t は 0.7 秒程度でよく 2.5 秒は相当の余裕があり、ここに安全率が含まれていると考えられている。しかし実際の運転者はこの余裕と路面のすべり摩擦の余裕とを加味して、制動を行う

場合路面とタイヤの間のすべり摩擦係数を 100% 使用しないで（完全ロックの制動ではなく、ブレーキドラムで滑っている状態）停止する。この方が横すべり等をも起さず、安全なのである。この意味からも実際の路面の摩擦係数は構造基準のものよりいくぶん大きいことが望ましい。

一方追突の状況を考えると、追従走行している車の場合、後車は前車の制動を見て自分も制動を行ない停止する。制動停止距離はほぼ等しいと考えると、追従間隔は制動おくれの間の走行距離である。通常の最小車頭間隔²⁰⁾は 30 Km/h で 8~18 m、60 Km/h で 18~30 m であるので、前車の後部から後車の前部までの間隔は 5~25 m である。これを時間に換算すると制動おくれとしての余裕は 0.6~1.6 秒となる。したがって第一義的には追突とすべりとは関係ない。しかし実際の走行では後車は必ず制動おくれがある。何等かの原因で制動おくれが余裕時間より大きくなった場合、運転者はより強くブレーキを踏んで制動停止距離を小さくしようとする。普通制動して 0.3 g 以上の減速度が加わると人間は非常な不快を感じるので、前車の制動は通常これより小さいと考えられる。したがって危険な場合、後車の用いる路面のすべり摩擦係数と前車の用いる適当な摩擦係数との差が安全に影響するものである。路面の摩擦係数を 0.45、前車の適当な減速度を 0.3 g とすると、両車の制動距離の差は $S = V^2 / (254 \times 0.30) - V^2 / (254 \times 0.45)$ となり、 $S = v \cdot t / 3.6$ より 4~15 m、0.5~0.9 秒の余裕がでることになる。そしてこれに走行車両間の時間間隔を加えると余裕の合計は 1.1~2.5 秒となり十分安全である。

これらを考慮すると視距に関係する一般の制動停止の場合、路面の摩擦係数は構造計算の数値よりいくらか大きくしておく必要がある。一方追突を考えた場合は普通制動（乗心地を害しない範囲の減速度、0.3 g 程度）との差が大きいほど安全であり、0.45 あればほぼ十分と考えられる。

(2) 事故との関係

路面がすべりやすい状態にある場合、事故の原因となることはよく知られている。事故の原因の中にすべりの要素が含まれていることは非常に多い。しかし反面すべりのみが原因で起った事故は比較的少ないのである。これらの状態を表 4-9²¹⁾ に示す。走行車にとって必要なすべり摩擦は制動時、駆

動時および横推力を受けた時が主であって、普通走行中はほとんど必要としない。したがって事故は路面がすべりやすくなると同時に、何等かの他の原因が重なってはじめて起ることになる。逆にいうとブレーキを踏まなかった事故を除くと、事故は常にすべり摩擦が関係していることになる。摩擦係数が大きいと、事故を防止できないまでも、損害を小さくすることができるわけである。

表 4 - 9 道路欠陥別事故率

欠 陥 種 類	事故件数	比 率 %	道路欠陥のみの比率%
欠 陥 な し	17610	82.5	—
見 通 し 不 良	1,732	8.1	46.3
すべりやすい	1,145	5.4	30.6
凹 凸 破 損	436	2.0	11.6
工 事 中	354	1.6	9.5
水たまりぬかるみ	76	0.4	2.0
計	21,353	100	100

表 4 - 10 事故と関係のあるすべりまさつ係数値

舗 装 種 類	場 所	速度	湿潤摩擦係数	路面温度	測定月日	事故との関係
コンクリート	17号 小出地区	80	0.47	23.5	40. 7.21	事故なし
〃	首都高速 千代田トンネル	60	0.30	—	39. 7.30	供用開始直前
〃	〃	〃	0.50	—	39. 9.15	
〃	〃	50	0.64	13.0	39. 4. 7	
〃	〃	〃	0.20	27.0	40. 8.18	事故多発
〃	〃	〃	0.52	12.6	40.11.30	塩酸洗ひ、事故急減
〃	〃	〃	0.84	12.3	〃	エメリー接着 事故急減
〃	〃	〃	0.79	11.9	〃	エメリー、シノパール接着、事故急減
アスファルト・オープン	首都高速 1号線	60	0.43	—	39. 7.30	供用開始直前
〃 〃	〃 〃	50	0.75	25.0	40. 4. 7	
〃 密粒	〃 〃	60	0.49	—	39. 7.30	供用開始直前
〃 〃	〃 〃	50	0.77	24.0	40. 4. 7	

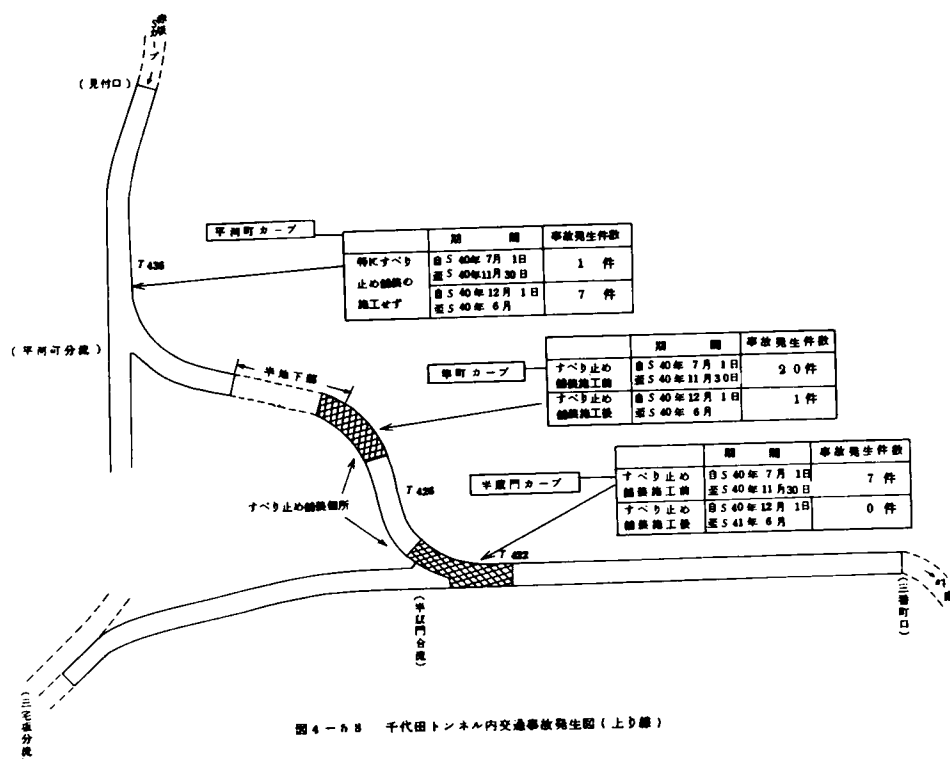
舗装種類	場 所	速度	湿潤摩擦係数	路面温度	測定月日	事故との関係
アスファルト、密粒	名神 小牧〜一宮	60	0.66	35.5	41. 9. 2	事故なし
	〃 関原〜彦根	〃	0.58	35.5	41. 9. 2	
	〃 彦根〜八日市	〃	0.39	39.5	41. 9. 2	
	〃 山 科	〃	0.39	36.0	41. 8.31	やや事故多し
	〃 〃	〃	0.42	35.5	41. 8.31	
	〃 京都南〜茨木	〃	0.53	35.5	41. 9. 1	事故なし
	4号線 東京都	50	0.28〜0.60	26.0	40. 7.15	交差点手前 追突事故多し
	14号 東京都	〃	0.41〜0.48	31.0	40. 9.27	追突事故あり
	17号 上越芝原	30	0.66	31.0	40. 7.20	曲線事故多発地点
	〃 〃 〃	〃	0.77	25.0	〃	直線 事故なし
	17号 上越四十日	60	0.59	25.0	40. 7.21	〃 事故なし
	〃 〃	〃	0.35〜0.51	31.0	〃	〃 事故多し
仮設路面	平 鋼 板	60	0.19		38.12.	
	縞、穴あき鋼板	〃	0.21〜0.27		39.10.	
氷雪路面			0.1〜0.3 0.3〜0.45			普通の氷雪面 良好に処理された 氷雪面

表 4-11 路面のすべり摩擦係数の限界値

国 別	道 路 の 種 類	最小摩擦係数	条 件
日本 (二市、一府、一県)	一般道路	0.40	路面温度 35℃ (60k/h) 湿潤
	同上、氷雪のある場合および仮道	0.35	
	線形の悪い所(勾配、曲線)交差点、分合流点	0.45	
	同上氷雪のある場合および仮道	0.40	
イギリス	ロータリー、曲線、勾配、交差点	0.60	横すべり摩擦係数
	直線平坦路	0.40	〃
	その他一般区間	0.50	〃
PRCA		0.45	45km/h
		0.40	50/h
アメリカ		0.40 (一部 0.45〜0.50)	40 mph

表 4-10 は土木研究所で最近実測した各種道路の縦すべり摩擦係数のう

ち事故と関係のあるものを集めたものである。この表4-10の中で、まずすべりが事故に結びついたのは、コンクリート舗装の首都高速、千代田トンネル内である。供用開始前は摩擦係数が0.3であった。これは単なる舗装面の性質の外に、じんあい、レイタンス等があったと思われるが、十分大きいとは考えられない。その後時間の経過および温度の低下のために摩擦係数は0.30→0.50→0.64と順次上昇してゆき、道路も安全であった。しかし40年8月の測定では0.2と非常に小さくなった。現場はちょうど合流点附近なので追突、接触等の事故が多発した。摩擦係数0.2は氷に近い状態である。この原因は漏水によるカルシウム分の沈澱と分り、一部塩酸洗を行ない、一部はエポキシ樹脂によるエメリー接着、およびエメリー、シノパールの混合接着を行なった。その結果摩擦係数もそれぞれ0.52、0.84、0.79となり事故も起らなくなった。これらの状況を図4-53に示す。



17号線の上越管内、芝原地区でも事故が多発した。現地は曲線区間があるため、事故の原因がすべりのためか、曲線のためかを判別するために、附

近の直線区間のすべり摩擦をも同時に測定した。その結果すべり摩擦係数は曲線区間で 0.66 であり、直線区間では 0.77 であった。問題の地点は直線部分よりいくらか摩擦係数は小さいが、係数値は十分に大きく、事故の原因は曲線線形のためであると考えられる。

17号線上越管内の四十日地区の事故多発地点については、同じような直線道路の路面で、事故の少ない部分は摩擦係数が 0.59 であるのに対して、事故多発地点は平均で 0.45 であり、部分的には 0.33~0.41 と小さくなっている。

名神高速道路でも最近事故が多発して問題になっているのは京都東—京都南間¹⁴⁾であり、摩擦係数も 60Km/h、湿潤で他の区間が 0.5~0.6 と良好であるのに比して、0.4 前後であり部分的に 0.4 より小さくなっている。

追突による事故が問題になった例は 4 号線の東京都内である。交差点の手前で追突事故が多いので、原因がすべりによるものか、あるいは無理な運転によるものかを知るために測定した。その結果、摩擦係数は 0.28~0.60 で大部分は 0.45 以上であったが、ところどころ 0.4 以下の所が表われており、すべり摩擦係数も十分大きくないことが分った。

同様に 14 号線の京葉道路入口（東京側）でも追突事故が問題になった。測定の結果摩擦係数は 0.41~0.48 程度であり、特に下り方向は 0.42~0.41 となった。追突事故の原因がすべりのみにあるとも考えられないが、0.42~0.41 はやや小さい値である。

これらの状況を総合してみると、普通の路面の摩擦係数は、夏季、湿潤、60Km/h で 0.45 以上であり、0.5 以上あれば十分安全である。事故に関係する路面のすべり摩擦係数は 0.40~0.45 程度であると思われる。摩擦係数が 0.35 より小さくなった場合は事故の原因は路面のすべりのみにあると考えられてもやむをえない。一般に走行上良好な道路では 0.4 より大きければよいが、線形の悪い所とか、追突の危険の多い所では 0.45 以上ないと安全とはいえないようである。

以上(1)(2)の条件を総合²²⁾してわが国の路面のすべり摩擦係数の限界値を表 4-11 のごとく提案したい。なお表中に参考のために諸外国の限界値をあげた。

表 4-11 路面のすべり摩擦係数の限界値

国 別	道 路 の 種 類	最小摩擦係数	条 件
日本 (ニヤルホホ)	一 般 道 路	0.40	路面温度 35℃ (60Km/h) 湿潤
	同上、氷雪のある場合および仮道	0.35	
	線形の悪い所（勾配、曲線）交差点、分合流点	0.45	
	同上氷雪のある場合および仮道	0.40	
イギリス	ロータリー、曲線、勾配、交差点	0.60	横すべり摩擦係数
	直 線 平 坦 路	0.40	〃
	そ の 他 一 般 区 間	0.50	〃
P R I C A		0.45	45 Km/h
		0.40	50 Km/h
アメリカ		0.40 一部 (0.45~0.50)	40 mph

§ 4.12 結 語

本章においては路面のすべり摩擦係数の実測値、およびこれに対する各種要因による解析についてのべ、最後に今後路面のすべり摩擦係数を表わす基準およびその基準の下で実際の路面が必要とする限界値についてのべた。

まず路面のすべり摩擦係数はまことに多種多様であって 0.1~0.2 の広い範囲に分布している。別表にこれらの実測値をあげてある。大別するとコンクリート舗装のすべり摩擦係数は 1.0~0.4 の範囲にあり、特別の場合 0.2 程度まで下る場合もある。アスファルト舗装も大体 1.0~0.4 の範囲にある。特別の場合 0.1 程度にまで下ることが予想される。いわゆるすべり止め舗装の摩擦係数も普通の舗装とあまり差はない。ただエメリー、シリカサンド等を使用した場合は良好である。氷雪路面および仮設鋼板等の路面の摩擦係数は 0.1~0.4 程度であって、特に鋼板は湿潤時非常に小さくなるので注意を要する。

つぎにすべり摩擦に影響をおよぼす要因は多種多様である。一定の路面

であっても測定時の要因によってことなる係数値がえられる。

摩擦の要因の一つはタイヤ条件であり、タイヤゴム質によって摩擦係数は異なるが、現在実用されている大型自動車用天然ゴムと、中小型車用 *SBR* 合成ゴムとはあまり摩擦係数の差はない。タイヤ表面の模様は主として湿潤時の摩擦係数に関係し、排水性のよい形状のトレッド模様がよい。タイヤ内圧、接地圧、輪荷重およびタイヤ形状も摩擦係数に関係するが、その影響は比較的小さい。

次いで路面条件が摩擦係数に関係する。舗装の種類はそれのみでは摩擦係数に決定的な影響はなく、結合材の量、骨材の性質等が大きい影響をおよぼす。路面の粗さも摩擦係数に影響するが定量的な把握は困難で、とくに粗度が摩擦係数に影響するのは非常に小さい凹凸である。路面のじんあい、よごれは当然摩擦係数を減少させる。その他特に大きい影響をあたえるのは乾湿、温度および速度である。

さらに乾湿、温度および速度の影響のうち、まず乾湿については、当然湿潤状態の方が小さいので、安全走行上は湿潤状態を中心にして検討すべきである。温度および速度の相関式は湿潤状態に対し今回 $f = 0.000105 t^2 + 0.0002 v t - 0.0111 t + 0.000056 v^2 - 0.0117 v + C$ なる実験式がえられたので、これによって換算して論ずべきである。簡単に換算する場合は温度の影響は $0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲では路面温度 1°C 増大するごとに摩擦係数は 0.01 減少する。速度に対しては 60km/h 前後の場合 1km/h の速度の増減に応じて、摩擦係数は 0.0045 減少または増大する。

その他季節による影響も今までかなり大きいと考えられていたが、温度の影響が大部分であって、温度補正を除くとそれ程大きいものでない。コンクリート舗装ではほとんど考慮する必要はないが、アスファルト舗装ではなお検討を要する。制動条件も摩擦係数値に影響を及ぼす。一般に縦すべり摩擦係数が最も標準的であり、横すべり摩擦係数も縦すべり摩擦係数と相関すると考えられる。

最後に路面のすべり摩擦係数の基準値は外的条件を湿潤、リブタイヤ、路面温度 35°C 、 60km/h とした場合、道路の構造設計および事故発生状況等を総合して決定し、一般部では 0.4 重要な所では 0.45 とすることが適当である。

参 考 文 献

- 1) Schallamach, A. "Load dependence of rubber friction." Proc. Physical Society, London 65 B, 1952.
- 2) "Research on Road Safety." Road Research Laboratory. 1963.
- 3) K. V. Shooter and D. Tabor, Proc. Royal Society, B65, 1952.
- 4) R. F. King and D. Tabor, Proc. Royal Society B66 1953.
- 5) "Research on Road Safety." Road Research Laboratory. 1963.
- 6) Gosta Kullbery, "Method and equipment for continuous measuring of the coefficient of friction at incipient skid." H. R. R. Bulletin 348. 1962.
- 7) 建設省土木研究所「アスファルト舗装のすべりとすべり止め工法に関する研究」土木技術資料5巻3号 27P 1963.
- 8) Horne Walter R and Leland Trafford J. W. "Influence of tire tread pattern and runway surface condition on braking friction and rolling resistance of a modern aircraft tire." NASA, TN, D-1376. 1962.
- 9) W. E. Meyer, "Some results of research on skid control." FISITA Tenth International Automobile Technical Congress. 1964.
- 10) Horne Walter R and Dreher Robert C. "Phenomena of pneumatic tire hydroplaning." NASA TN D-2056. Nov. 1963.
- 11) Walter R. Horne and Upshur T. Joyner. "Pneumatic tire hydroplaning and some effects on vehicle performance." SAE International Automotive Engineering Congress, Jan. 1965.
- 12) Charles J. Coven and Nicholas M. Trivisonno, "Hydroplaning

effects in tire friction. " The B. F. Goodrich Company
Research Center, April 23, 1965.

- 13) 市原薫「すべり摩擦係数の温度および速度との関係について」土木技術資料 8巻 10号
23～頁, 1966.
- 14) 市原薫「高速道路におけるすべり摩擦係数の問題点について」高速道路と自動車、昭和41
年12月号、32～頁。
- 15) 市原薫「すべり止め舗装について」道路建設 昭和40年12月号 40～頁
- 16) 市原薫「首都高速道路のすべり摩擦係数について」高速道路と自動車、9巻 2号 24～頁
1966.
- 17) 市原薫・小野田光之「昭和39年度に測定した路面のすべり摩擦係数について」土木技術資
料 7巻7号 12～頁, 1965.
- 18) "A policy on geometric design of rural highways." AASHO
- 19) 高野務著「道路構造令解説」日本道路協会, 1965.
- 20) 吉田滋「道路および交通条件の自動車走行速度と交通量におよぼす影響について」第7回日本
道路会議論文集, 941～頁, 1963.
- 21) 「交通事故特性の研究」科学警察研究所資料第43号
- 22) 市原薫「路面のすべり摩擦係数と事故との関係」交通工学 1巻 4号 21～頁, 1966.

第5章 路面のすべり抵抗測定法

§5.1 概 説

路面のすべりの実態を把握し研究を進めるに当っては、すべり摩擦の測定法が大切である。すべり摩擦の状況は非常に複雑であって、一つの測定装置であらゆる状態のすべり摩擦を測定することは不可能であり、測定の目的に応じた装置を使用するのが現状である。すべり摩擦測定装置は室内試験装置と現場測定装置に大別される。前者は模型のゴム試験片を用いるか、せいぜい1輪の測定タイヤを用いてガラス面、鋼板、試験用舗装面等の上でのすべり現象を定性的に研究するのが主な目的であって、タイヤメーカー、ゴム関係研究所等で用いられている。さらにこれを分類すると一定引張力法、定速度方法、振子式方法、およびその他の特殊な方法に分けられる。一定引張力法、定速度方法は、いずれも室内実験のものは $0.01 \sim 1.0 \text{ m/s}$ の低速であって実用の $30 \sim 100 \text{ km/h}$ の速度のすべり現象とは直結しがたい欠点がある。振子式方法はスリップして走っているタイヤのトレッドの状況に依り実際に近く、英国の道路研究所が開発した *Portable Skid Resistance Tester* は広く利用されている。現場測定装置は実際の道路で実物タイヤを使ってすべり摩擦抵抗を測定するものである。測定方法は減速度法、制動停止距離法、トレーラー法、横すべり抵抗法がある。減速度法と制動停止距離法は任意の自動車で簡単に測定できるが、測定値はやや不正確であり、また危険をとまなう。トレーラー法は縦すべり摩擦を測定するには最も普通の方法である。横すべり抵抗法は横すべり抵抗を測定するのであるが、その外にタイヤの摩耗や発熱が少ない長所がある。このように現場測定装置は各種各様であるので、これを統一する動きもあるが、すべり現象の複雑性にかんがみその目的に適した測定装置を用いることが必要である。

本研究に用いたすべり摩擦抵抗測定装置は土木研究所々属の大型すべり試験車である。この装置は縦すべり摩擦、横すべり摩擦の外にすべり率を変えた縦すべり摩擦も測定できるようになっており、もちろん乾湿両方の測定が

できる。左右の測定輪は各々独立に測定できるので同一車線上の左右のすべり摩擦係数の比をとることもできる。使用実績も10年近くになり、この間改造も行なったがなかなか性能のよい測定装置である。この試験車で日本全国のすべり摩擦を測定したものについて解析を加えんとするものである。

§5.2 各種のすべり摩擦測定装置

路面のすべりはヨーロッパにおいては自動車の出現以前から問題にされていた。19世紀の末頃には路面のすべりやすさを示す尺度として、停止しようとしてから馬が転ぶまでの距離（いわば制動停止距離）を用いていた。そしてその転び方に段階がつけられており、つまりいて膝をつく程度、腰が地面につく程度、完全に転倒するなどという表わし方であった。道路の発達と共に道路のすべり摩擦測定装置も種々開発されている。これらを大別すると(1)模型のゴムを用いた室内試験装置と(2)実物のタイヤを用いた現場測定装置に分けられる。

〔1〕 室内試験装置

室内試験装置はゴムのすべり摩擦に関する定性的な研究に使用される場合が多く、タイヤメーカーおよびゴム関係研究所等で用いられている。摩擦係数を調べる方法には普通次の三種がある。(1)一定引張力方法 (*Constant-pull method*) (2)定速度方法 (*Constant-velocity method*) (3)振子式方法 (*Pendulum method*) (4)その他特殊な方法である。その各々についてのべると次のとおりである。

(1) 一定引張力方法 (*Constant-pull method*)

この方法は図5.1のようにゴムブロックスライダーの摩擦抵抗に重力がうちかつようにする。特別の場合には図5.2のように傾斜面を用いてもよい。傾斜面の場合は傾斜角の *tangent* が摩擦係数を表わす。たゞしこれらの場合には引張力は準定常的であってゴムスライダーの速度変化は小さく、慣性力は事実上働かないものとする。一般にこれらの試験片はゴムスライダーを使用するが、タイヤメーカー等では試験片に実物タイヤを使用し、ジャッキで荷重をかけて、路面に相当する板の方を引張る方法も行なわれている。

(2) 定速度方法 (*Constant-Velocity method*)

この方法は図 5.3 のように引張り重錘の代りに定速モーターに結合したドラムが使われていて、ゴムスライダーはエンドレスベルトに乗っているか、あるいは回転円盤の周縁におかれているような場合が多い。この方法は一定引張力方法よりも正確であり、より広い速度領域あるいは速度の遷移領域での研究にむいている。一定引張力方法と同様にゴムスライダーの代りに実物タイヤを使用することもできる。日本ではブリヂストンタイヤでこの方法を用いてトレッドパターンの試験をしている。

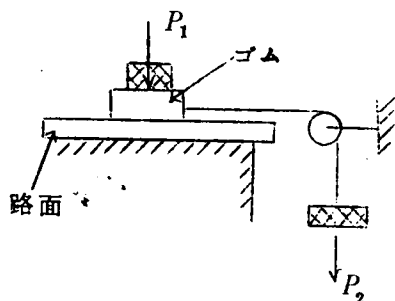


図 5-1 一定引張力方法

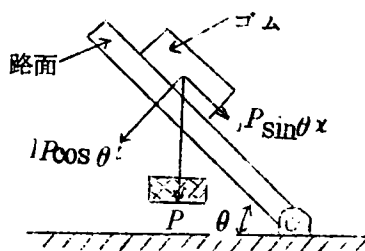


図 5-2 一定引張力方法 (傾斜面)

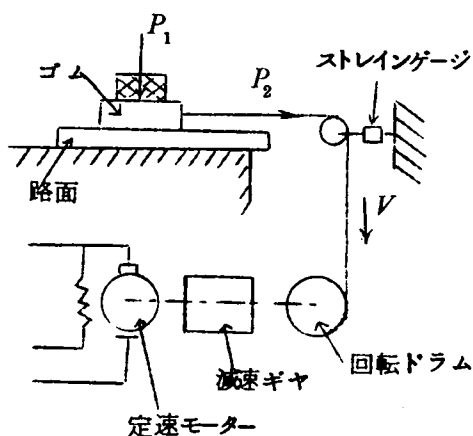


図 5-3 定速度方法

(3) 振子式方法 (*Pendulum method*)¹⁾

これはエネルギー保存の法則を用いたもので、試験室でも道路でも手軽に路面の相対的な摩擦係数を測る方法である。ゴムのスライダーをもつ振子を所定の高さから振り降り、振子が路面をこすって振り上がる高さを読み取る方式

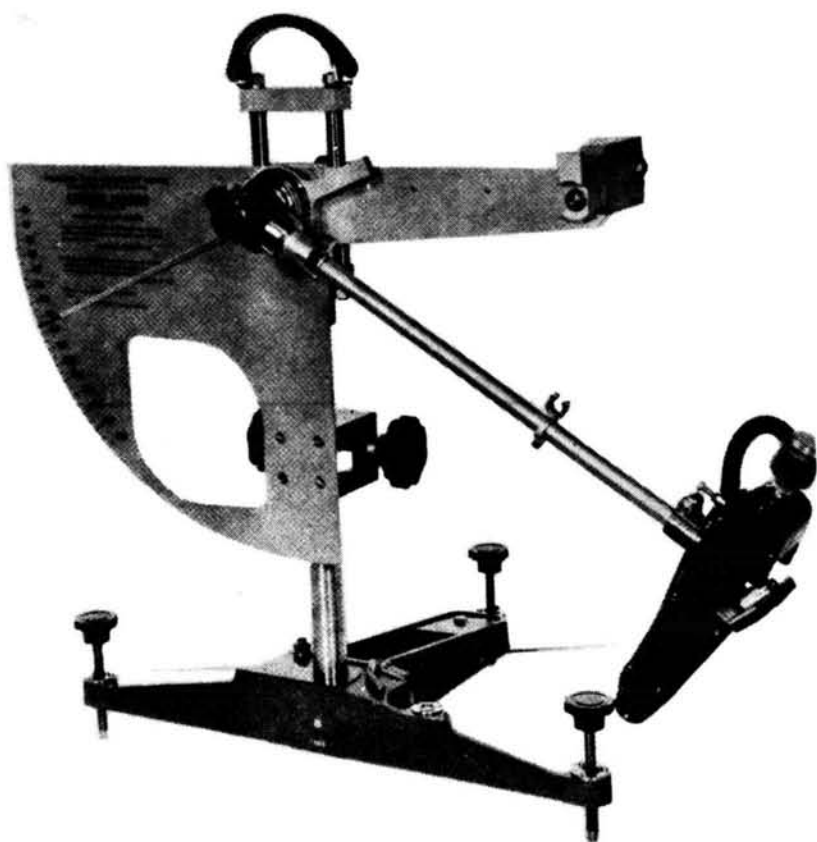


図 5-4 ポータブルテスター（英 国）

である。しかしこのとき摩擦の定常状態はえられないからこの値はあくまで相対値である。この方法はスリップして走っているタイヤのトレッドエレメントの状況に依っている。そしてえられる値はすべり摩擦係数よりもむしろ臨界摩擦係数に近い値を表わす。振子式方法で最もよく知られているのは英国の道路研究所が開発した *Portable Skid Resistance Tester* である。図 5-4 にこの装置を示す。この試験器の測定値は約 30 mph の速度のときの模様付タイヤのついた乗用車のすべり特性とほぼ一致するといわれている。路面は常に湿潤状態にして測定する。この装置を使用した場合の大体の測定値の目安は表 5-1 の通りである。

表 5-1 ポータブルテスターによる所要すべり抵抗記録値指針

分類	現 場 状 況	濡れた路面滑抵抗	滑 り 抵 抗 標 準
A	非常に困難な場所： (1) ロータリー (2) せまい道路で半径 500 フィート以下の曲線 (3) 坂道 1/20 またはそれ以上で距離 100 ヤード以上 (4) せまい道路で信号灯間近	65 以 上	良好：高速走行でも必要条件を満たしすべり事故を繰返さないようなところ。
B ※	一般的必要条件即ち A 及び C 分類に該当しない道路または状態	55 以 上	一般的に申し分ない：道路が遭遇する最も困難な状態を除いてすべての条件にかなった所
C ※	容易な位置、即ち直線道路でなだらかな勾配とカーブで交差点がなく、特別条件（混合交通特に緊急状態を起す危険）のない所	45 以 上	順調な状態の場合だけ申し分ない。
D	全般的場所	45 以 下	滑る可能性もある。

※ 外見上滑らかな細かい表面性状の道路における滑らかなタイヤの車輪には適当なすべり抵抗がないことがわかる。そのような道路のために、濡れた状態のもとで、すべりによる困難な徴候がないことを保証するため、また事故研究が行なわれるべきである。

〔 2 〕 現場測定装置

道路上でのすべりの現象は非常に複雑であるので単なる定性的な室内試験や、一定の現場試験だけでは正確な状況を把握することは困難であり、目的に応じた種々の測定装置が考案されている。これを便宜的に測定の原理によって大別してみると (1)減速度法、(2)制動停止距離法、(3)トレーラー法、(4)横すべり抵抗法となる。この各々について簡単に説明する。

(1) 減速度法

この方法は自動車に適当な加速度計を乗せればよく、特別な試験車を必要としないので簡便である。自動車走行中に車輪を制動してタイヤ面でスリップを起させたときの抵抗 R は次式の通りである。

$$R = \mu \cdot W = \frac{(1 + \epsilon) W}{g} \alpha - \mu_l \cdot F \cdot V^2 \quad (5-1)$$

$$\therefore \mu = \frac{(1 + \epsilon) \alpha - \mu_l \cdot F \cdot V^2}{g} \quad (5-2)$$

α は自動車の減速度、 μ はタイヤを路面のすべり摩擦係数、 W は自動車の重量、 ϵ は自動車の回転部分相当重量 ΔW の W に対する比、 μ_l は空気抵抗係数、 F は自動車の前面投影面積、 V は空気に対する車の相対速度である。式(5-2)において ϵ は1に比べて小さく、また空気抵抗も一般に低速の場合には小さいので $\epsilon = 0$ 、 $\mu_l = 0$ とおくと。

$$\mu = \frac{\alpha}{g} \quad (5-3)$$

となり α を測定して μ をえるのである。この原理によったものが減速度法であり、ある速度で走行している自動車に制動をかけ全輪をロックしてすべるときの減速度を加速度計(減速度計)で測定する。装置が簡単で安価であり、試験も単純であるが、急制動をするため他の交通の妨げになる。またえられた結果が試験車の全輪の平均値であるため詳細な解析をする資料にはなりにくいこと、試験車の特性が入りやすいことなどの欠点がある。その一つは試験車は制動時に前下りになるので、試験車に取りつけた減速度計は実際の前後方向の減速度の外に前下りになった角度だけの重力の分力に相当する指示を加えた値を表わすことになる。すなわち μ の代りに $(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$ を表わし、ほゞ $\sin \alpha$ だけの誤差が生ずることになる。この影響は試験車として用いる自動車の性質によって異なるので個々の試験車について補正を加えなければならない。通常の自動車に対する補正係数は0.95程度である。この方法は試験車が完全に停止するまで制動を続ける必要がないので制動停止距離法に比べていくぶん有利である。

わが国で用いられている減速度計およびその測定記録は図5-5の通りである。米国で広く用いられているものには図5-6のようなタブレ-減速度計がある。これは制動時間中の最大の減速度が目盛に示されるもので、刻々の減速度を記録する機構はもっていない。

(2) 制動停止距離法

この方法も任意の自動車を使って測定できるので便利である。自動車が制

動を開始してから完全に停車するまでの距離を測って路面のすべり摩擦係数を算出する方法である。

ここで μ を縦すべり摩擦係数、 μ_r をころがり摩擦係数、 V を制動開始時の速度、 S を制動開始から停止までにすべった距離、 i を道路の縦断勾配とすると、制動開始直前に自動車を持っていた運動のエネルギーと停止するまでの摩擦によるエネルギー損失とは等しいので式5-1から

$$i + \mu_r + (1 + \epsilon) \frac{\alpha}{g} + \mu + \frac{\mu_l \cdot F}{W} V^2 = 0 \quad (5-4)$$

式(5-4)から制動停止距離 S を計算すると(3章と同様に)

$$S = \frac{(1 + \epsilon) W}{g \cdot \mu_l \cdot F} \log e \sqrt{1 + \frac{\mu_l \cdot F \cdot V^2}{(\mu_r + \mu + i) W}} \quad (5-5)$$

この計算は複雑であるので実際には式(5-3)を積分して

$$S = \frac{V^2}{2 g \mu} \quad (5-6)$$

実用計算では V を Km/h 、 S を M 単位で表わした次式を利用する。

$$S = \frac{V^2}{254 \mu} \quad (5-7)$$

したがってこの方法は空気抵抗、回転抵抗を無視する外にすべっている間の摩擦抵抗力は常に等しいと考えたものである。この方法は特別な装置を必要とせず、簡単に試験できるが精度はあまりよくない。また停止するまで制動を続けなければならないので、特にすべりやすい路面での試験が危険であり、他の交通の妨げにもなる。精度の低い理由は上記の外に第一に制動開始地点がはっきりしないことである。制動開始地点とスキッドマークの始点とは同一ではなく、スキッドマークの着き方も路面によって異なる。このための手段として制動開始と同時に制動灯の点灯と連動して(ブレーキオイルの油圧によって)路面にチョークを叩きつけて制動開始地点を明確にしたり、ノズルからインクを路面に噴きださせ、そのノズルを電接時計と電磁石によって左右に振らせ路面上に自動車の位置と時間との関係を書いてゆくというような方法もところみられている。第2の問題点は制動開始時の速度(初速)

を正確に測定しにくいことである。しかも制動開始時の速度はすべり摩擦係数を計算する場合に2乗項として効くために全体の精度に大きく影響するのである。最近レーダースピードメーター等で走行中の速度も比較的正確に測定できるようになったが、それ程測定を複雑にするよりも減速度方法等がよい。

(3) トレーラー法（縦すべり法）

トレーラー法は自動車が特別の測定車輪をけん引して、この測定輪に制動をかけ、そのときのけん引力を測定するものである。他の交通の妨げとなることが少なく、安全に試験を行なうことができる。路面を人工的に湿潤にする場合には、試験車輪の通過する巾だけの散水でよいので少量の水で済むという利点もある。計算に当っては普通自由にけん引して、そのけん引力を測定する装置の場合、図5-7のように摩擦係数＝けん引力／測定輪重ではなくて、この場合制動するとけん引軸に引張りと同時にモーメントが働らき $N \cdot a = F \cdot r$ となり $N = F \cdot r / a$ なる揚力が働いている。ゆえにすべり摩擦係数は

$$\mu = \frac{F}{W - \frac{r}{a}F} \quad \dots \dots \dots (5-8)$$

となることに注意しなければならない。各国でいろいろの装置が使用されているが主要なものをあげると次のとおりである。

イ. 土木研究所小型すべり測定車

被けん引式の測定輪を小型バスの下部に内蔵しており、輪重は荷重ブロックを適当に載荷して変えるようにしている。図5-8は外観である。散水装置もそなえていて湿潤の測定もできる。

ロ. Juggernaut (英国)

図5-9に示す。簡易な装置であり100mphの速度まで測定できる。

ハ. スエーデンのすべり試験車⁸⁾

図5-10に示す。トラックの床下に取りつけられた試験車輪は歯車とVベルトを介してトラックの駆動輪に連結されており、これによって試験車輪のすべり率を変えることができるようになっている。形態はトレーラーと異なるが、原理的には同様である。散水装置をもち、最高試験速度は90Km/hである。制動試験を断続的に一定時間間隔で実施するための、

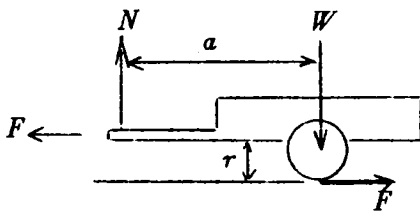


図5-7 縦すべり状況

自動的な制動プログラマー機構を備えている。現在あるすべり測定装置としては最も完成した形式と考えられている。

ニ. スエーデンのすべり測定用トレーラー

図5-11に示す。トレーラーの左右輪の中央に試験車輪を取り付けであり、試験車輪とトレーラーの左右輪とはプロペラシャフトで連結してある。試験車輪とトレーラーの車輪との径の差を変えることによってすべり率を変えることができる。

ホ. モイヤーのすべり試験車 (米国)

図5-12に示す。トレーラーの右車輪が試験車輪である。制動装置、力の測定装置、散水装置はすべて補助エンジンからえられる電力によって作動する。散水開始、制動開始、制動終了、散水終了の一連の操作がボタン操作で簡単に行なわれるようになっている。最高試験速度は約60 mphであり、すべり率は100%のみで変えられない。

ヘ. ドイツのすべり試験車⁴⁾

図5-13に示す。一輪トレーラーですべり率は100%のみで変えられない。試験時以外には試験車輪を油圧ジャッキで持ち上げておくことができる。

(4) 横すべり抵抗力法

横すべり抵抗力法は試験車の走行方向に対して測定輪がある角度をなすようにし、このときの測定輪に加わる力のタイヤ回転面に直角な成分を測定して横すべり摩擦抵抗力とするものである。この方法はヨーロッパで非常に多く採用されている。精度がよく、タイヤの摩耗や発熱が少ないので比較的長い区間を連続的に測定することができ、定速走行状態で測定できるので交通に与える障害が少ないことなどの利点があるが、測定装置が高価となり、また測定値(横すべり摩擦係数)の標準化が困難なことなどの欠点がある。主要な測定装置をあげると次の通りである。

イ. すべり測定用トレーラーNo 1⁴⁾ (土木研究所、島田式)

1937年土木試験所の島田技師は日本で始めてすべり測定車を製作し、各種の舗装面について測定した。これは図5-14のような構造のものであって縦すべり摩擦と横すべり摩擦の両方が測定できるようなものであった。

ロ. すべり測定用トレーラーNo 2 (土木研究所)

図5-15に示す。大型乗用車またはそれより大きい自動車でけん引する。走行中に圧縮空気によってトレーラーの左右輪を左右対称にトゥインに操舵することができる。操舵角は(横すべり角) $0 \sim 35^\circ$ までの範囲で可変である。またトレーラーの両輪に制動をかけることによって縦すべり摩擦抵抗を測定することもできる。力の測定は抵抗線歪計を用いて電氣的に行なわれる。試験速度はトレーラーの走行安定性の面から約 80 Km/h が最高である。この装置は取り扱いがやっかいであるので現在はあまり用いられていない。

ハ. 大型すべり試験車 (土木研究所)

大型試験車に各種のすべり測定装置が着けられており、縦すべり摩擦抵抗、 $0 \sim 35^\circ$ の横すべり角の横すべり摩擦抵抗およびすべり率 $0 \sim 100\%$ の縦すべり摩擦抵抗が測定できるようになっている。本研究はこの試験車で実測した値を解析したものであって装置については § 5.3 で詳しくのべる。

ニ. 英国の横すべり抵抗測定車²⁾

図5-16に示す。走行中に試験車輪を操舵することができ、通常 20° の横すべり角で測定する。横方向力は油圧に変換され、ブルドン管に取りつけたペンを動かす。通常 30 mph で測定し、 50 mph まで測定可能である。

ホ. Stoadographe (フランス)²⁾

図5-17に示す。シトロエン4tトラックに装備されており、走行中に試験車輪を 15° の角度に操舵することができる。測定速度は 40 Km/h 、横方向力は油圧ダイナモメーターによる直読式である。試験車輪には平滑模様のタイヤを用いている。

§5.3 本研究に用いたすべり抵抗測定装置

土木研究所道路研究室において

本研究に用いた大型すべり試験車は、大型バスを改造してすべり測定装置を着けたもので、1957年に製作しその後1966年に市原がすべり率の装置を付加したものである。測定種類は縦すべり摩擦抵抗の他に、横すべり抵抗および任意のすべり率の縦すべり抵抗が測定できるようになっている。もちろん乾湿両方の測定が可能である。外観は図5-18の通りであり、構造は図5-19の通りである。これらの細部構造についてのべると次のとおりである。

〔1〕 本 体

試験車本体はニッサンUDバスを使用したもので全巾2450mm、全長10890mm、自重10tである。リヤエンジンで空気バネ懸架となっている。エンジン出力は230HPであり最高120Km/hの速度まで測定できる。

〔2〕すべり抵抗測定装置

すべり抵抗測定装置は2組からなっており、1組は縦すべりおよび横すべり測定用であり、他の1組はすべり率のある縦すべり測定用である。

(1) 縦すべりおよび横すべり測定装置

この装置は図5-19のA部分に相当する。左右一対の測定輪があり、これは各々独立しており別個の条件で測定できるので、左右同時に測定したりまた異なった要素のものを同時に測定することもできる。細部の構造は図5-20の通りである。まず輪重の調節は空気圧で行なうようになっており、図5-20の⑩の载荷シリンダーに空気圧を加えると⑮のロッドを通して⑮'のロッドに载荷される。载荷を除くのは⑩の载荷シリンダーの空気をぬけばよい。使用しないときはさらに⑨のワイヤを引いて試験車輪をつり揚げる。縦すべり抵抗を測定する場合には測定輪のブレーキドラム②を制動するとタイヤはロックされる。このときすべり抵抗力によるタイヤの回転力はアクセル⑧に伝えられる。この回転力は次いで④④'の圧縮および引張応力となり④のストレインゲージに感応することになる。このとき④④'の+-の力はトーションバー⑬で結合され吸収される。またタイヤの前後方向の力はフリ

ジョイントをもつロッド②①で保たれるようになっている。したがってすべり抵抗によるタイヤの回転モーメントと④④'のモーメントとは等しくなり、タイヤ接地部のすべり抵抗とストレインゲージ④の応力とは比例する。

横すべり摩擦抵抗を測定する場合、載荷は縦すべりの場合と同様である。タイヤは⑦のタイロッドを引いて適当な横すべり角度をつける。角度の調整は②の舵角アームに舵角に応じたノックピンが入るようになっており(5°、10°、15°、20°、25°、30°、35°の7段階)、このノックピンを入れた上で⑩の舵角シリンダー(空気圧)を操作すると⑦のタイロッドが所定の角度に応じた移動をするようになっている。横すべり抵抗はアクスル⑧を通じて⑫のストレインゲージで測定されるようになっている。したがってストレインゲージ⑫に現れる力は $F \cdot \cos \theta$ に比例したものとなる。(Fは横すべり抵抗、 θ は横すべり角度)

(2) すべり率のある場合の縦すべり測定装置

この装置は図5-19のB部分に相当する。細部の構造は図5-21の通りである。図5-21において①は縦すべり摩擦を測定する試験車輪であり、②は走行速度(タイヤ回転速度)の基準となる基準輪である。この両輪は⑥の変速部と⑦のクラッチを介して連結されている。基準タイヤの摩擦抵抗は試験タイヤの摩擦抵抗に比して相当大きいように調整しておく。したがって走行中基準輪は常に路面上に密着していてすべりは起らない。変速部で両輪の回転比率を適当に変えると、それだけ試験輪がすべることになる。このとき試験輪のシャフトにつけられた④のトルクメーターで回転モーメントを測定しタイヤ面のすべり摩擦抵抗を計算する。輪荷重は⑩の載荷シリンダーで行ない、⑨のロードセルで測定する。この装置はタイヤにすべり率のある場合の縦すべり摩擦抵抗の測定の外に、スパイクタイヤ、タイヤチェーン等の起動抵抗、回転しながらの制動抵抗等の測定にも用いられる。

(3) 計測記録装置

この装置は図5-19のC部に相当する。各測定輪から出るストレインゲージコードをバス室内のストレインメーターを通してペンオツシロに書かせるようになっている。

〔 4 〕 載荷および制動操作盤

図 5 - 1 9 の D 部に相当し、図 5 - 2 2 の通りである。載荷、制動はいずれも空気圧を利用して行ない、操作は電気スイッチで行なうようになっている。横すべり角もこの操作盤で設定し、試験終了後のタイヤ引揚用モーターの操作もこの盤で行なう。

〔 5 〕 散水装置

バス車内に水タンク 2 個をそなえている。容量約 4 0 0 ℓ である。吸水および散水共に付属のギヤーポンプで行なう。散水ノズルは各測定輪の前方に各々 1 組ついており、操作は車内で行なう。水タンクの容量が小さいので大区間の測定には散水車を同行して測定を行なう。

〔 6 〕 その他の付属装置

その他の付属装置として補助エンジン（1 7 HP）1 基を載せており、エアーコンプレッサー、水ポンプの回転に使用する外に発電にも用いる。付属品としてキャリブレーション用リング、タイヤ温度計、および表面温度計をもっている。

§ 5-4 結 語

路面のすべり摩擦を研究するには、すべり摩擦抵抗の測定装置が大切である。現在ゴムと路面のすべり摩擦を測定する装置は室内実験法、実物測定法を合わせて色々の方法が考案され使用されている。しかしゴムのすべり現象は複雑であるのでどれか一つの方法で万能なものはない。目的に応じた測定装置を使用しなければならない。

ゴム関係者は一般に小型の室内実験装置を使用し、速度範囲も比較的低速の所で、主として定性的な実験をしているようである。現在の段階では路面のすべり摩擦を測定するのはやはり実物測定が最も適しており、各国ともにほとんど実物実験によっている。現場ですべり摩擦を測定するには簡易に普通の自動車を使って制動時の減速度を測定したり、制動停止距離を測定して計算する方法もあるが、いずれも不正確であり危険をとまなう。完全な方法

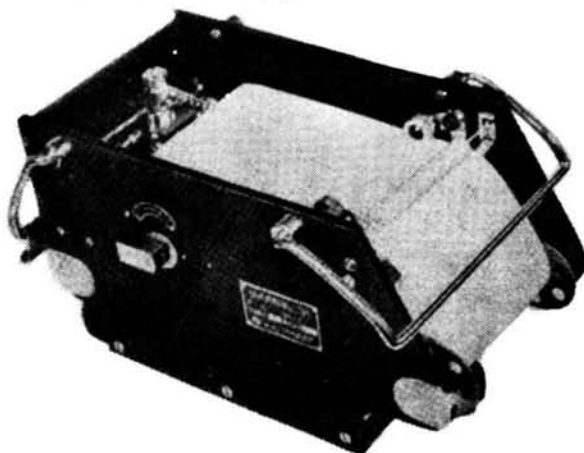
としては特定の試験車に特定の測定輪をつけ、これを制動してそのときの摩擦抵抗を測定するのがよい。現場測定装置には縦すべり摩擦を測定するものと、横すべり摩擦を測定するものがある。それぞれの目的と長所をもっているが一般に縦すべりのみを測定する装置は簡単であるが、横すべりおよびすべり率のある縦すべりを測定するものは複雑である。一般に舗装工事および道路の維持管理を担当している現場機関ではトレーラタイプの縦すべりのみを測定する装置で十分であるが、研究機関では横すべりおよびすべり率を変えた測定装置も必要である。

本研究においても現場測定装置によった実物実験を主として採用した。装置は縦すべりおよび横すべりの外にすべり率のある縦すべりも測定できる最も優れた装置である。

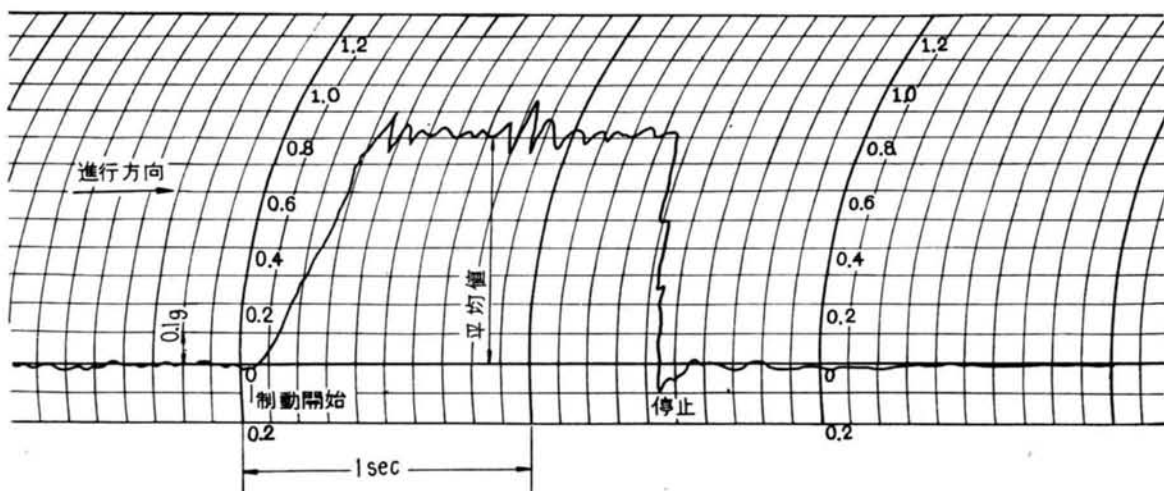
参 考 文 献

- 1) Giles, C.G. "Some laboratory methods for the investigation of skidding problems" First Int. Skid Prev. Conf. Proc. part I. 1959.
- 2) Giles, C.G. "Some European methods for the measurement of skidding resistance" First Int. Skid Prev. Conf. Proc. part I. 1959.
- 3) Auto-Products AB Ltd. "BV 6 Runway and Pavement Tester" "BV Runway and Road Friction Tester" "BVBS Road Friction Tester" Marketing Publications of Export Division. Stockholm, Sweden. 1962
- 4) 島田八郎「路面の縦及横滑り摩擦抵抗に及ぼす路面種別と其の性状に就て」
土木試験所報告第40号 昭和12年12月

図 5 - 5 ポータブル式路面すべり計



(a) 測定器



(b) 記録例

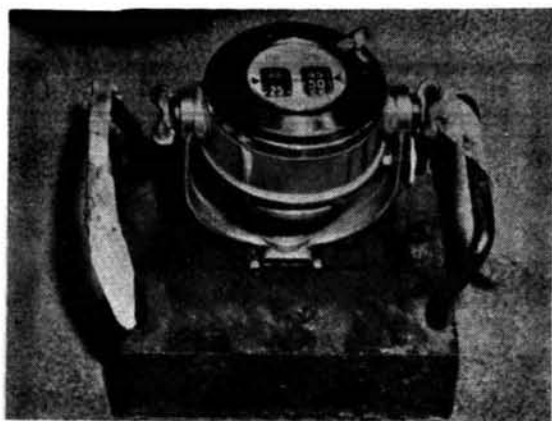


図 5 - 6 タブレー減速度計



図 5-8 小型すべり測定車（土木研究所）



図 5-9 Juggernaut（英国）

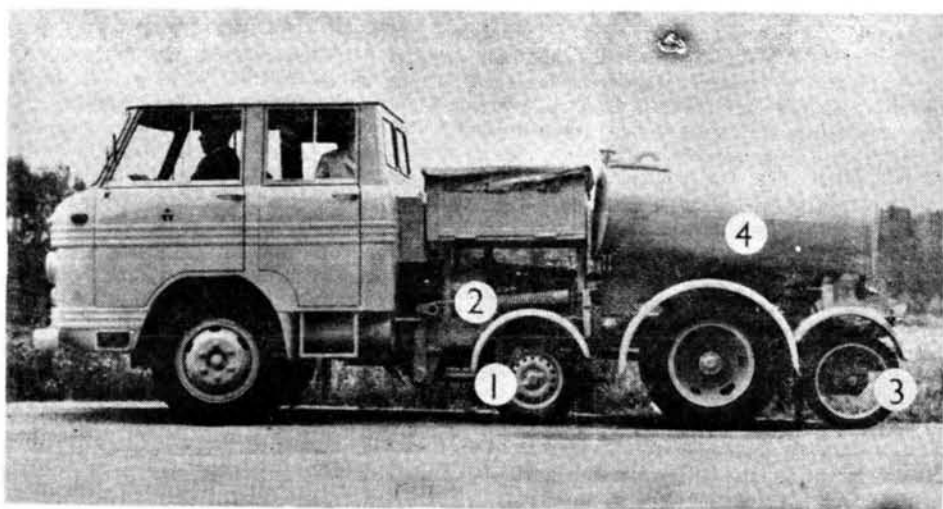


図5-10 スウェーデンのすべり試験車

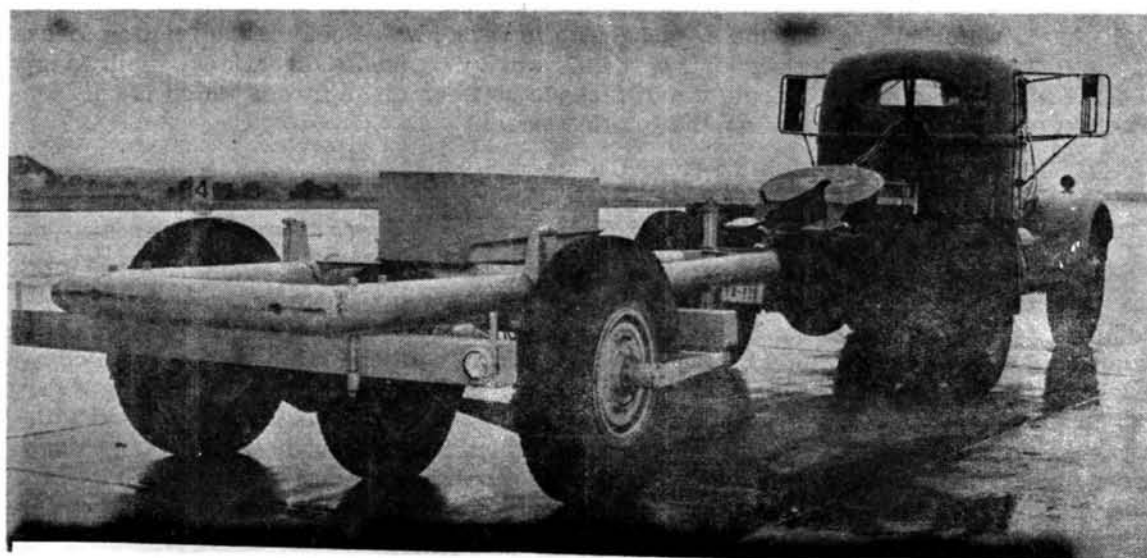


図5-11 スウェーデンのすべり測定用トレーラー

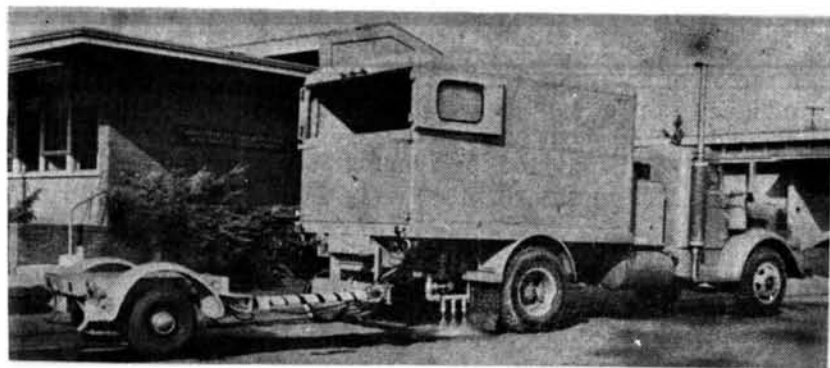


図5-12 モイヤーのすべり試験車



図 5-13 ドイツのすべり試験車

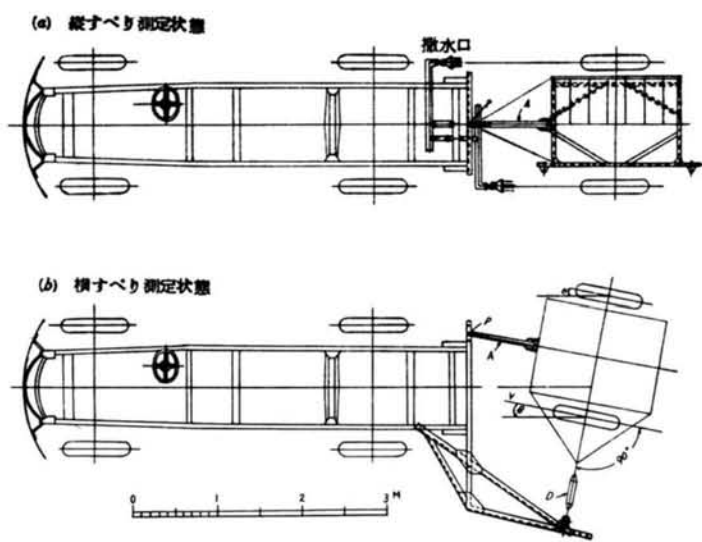


図 5-14 島田式すべり測定車



図 5-15 すべり測定用トレーラー（土木研究所）



図 5-16 英国の横すべり抵抗測定車

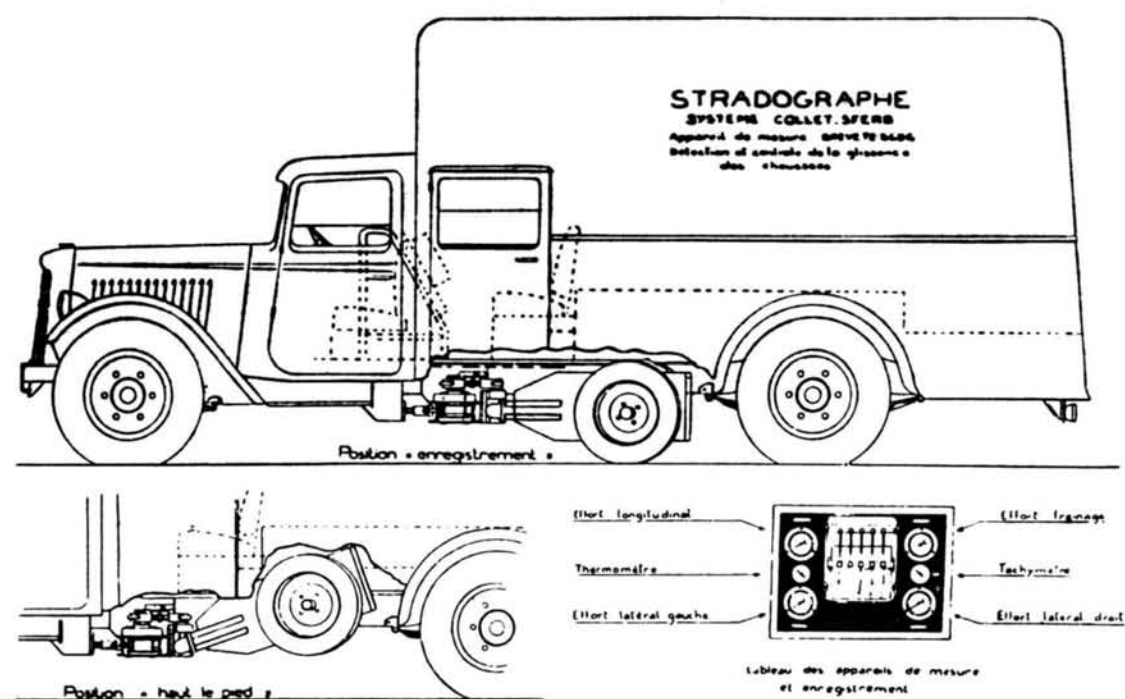


図 5-17 Stradographe (フランス)



図 5-18 大型道路試験車 (土木研究所)

- ① 縦横すべり摩擦測定装置
 ② すべり率可変型測定装置
 ③ ストレインゲージ
 ④ 操作盤
 ⑤ 散砂タンク
 ⑥ 散水タンク

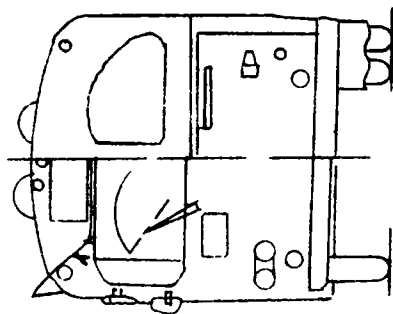
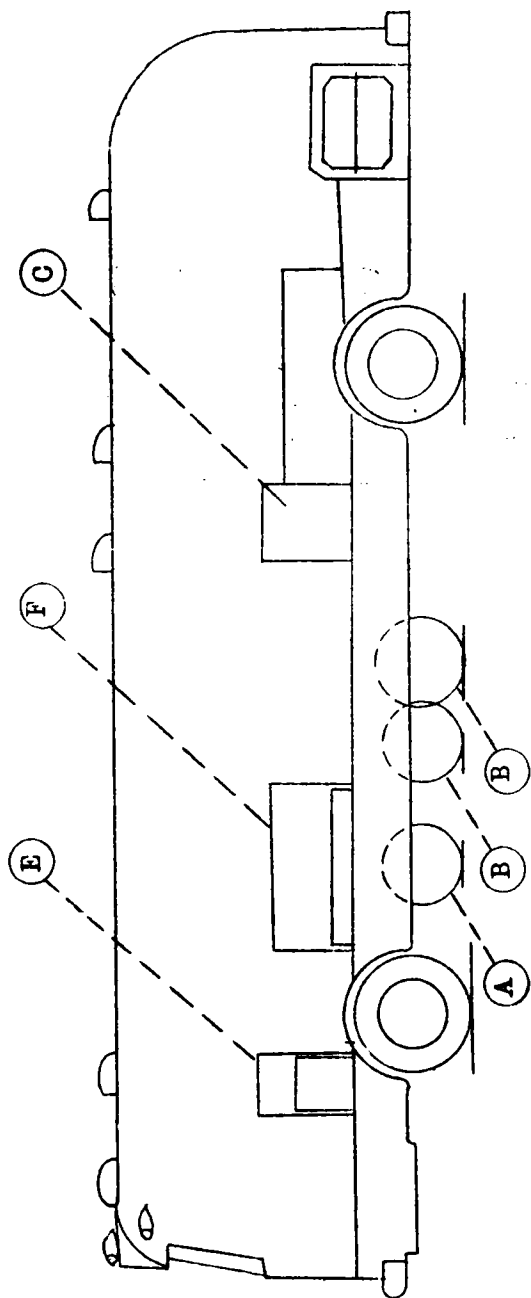
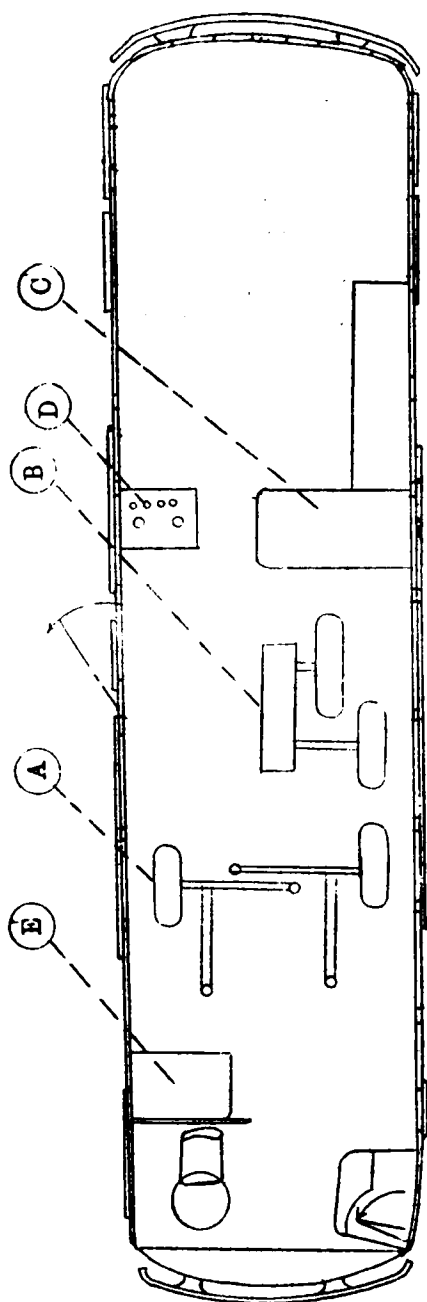
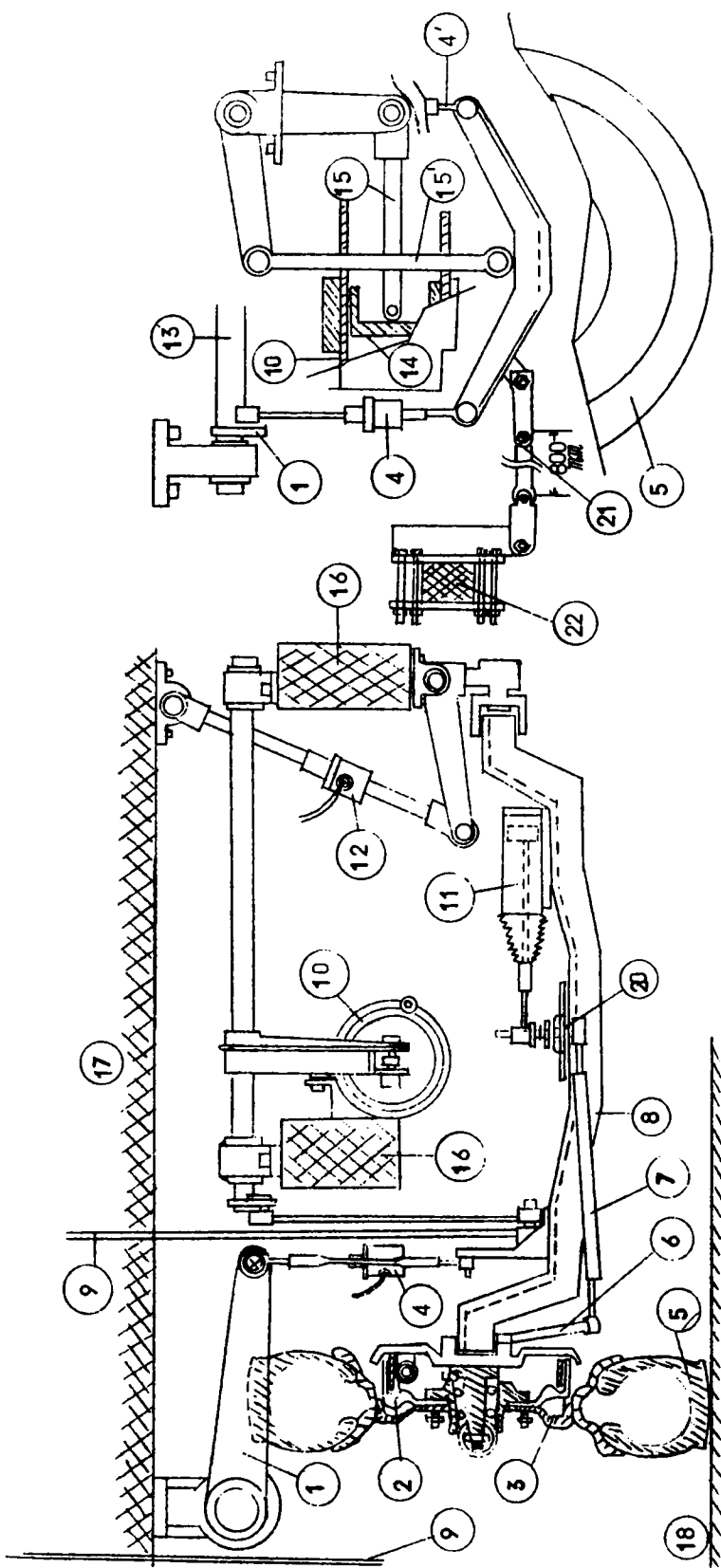


図5-19 大型道路試験車



- | | | | | |
|---------------------|----------------|-----------------------|--------------|--------------|
| ①.....トルク受けアーム | ⑤.....ナジグルアーム | ⑪.....舵角シリンダー | ⑮.....ブラケット | ⑲.....けん引ロッド |
| ②.....プレードラム | ⑦.....タイロッド | ⑫.....ロードセル(サイドフォース用) | ⑰.....車体フレーム | ⑳.....本体アクスル |
| ③.....ホイール | ⑧.....アクスル | ⑬.....トーションバー | ⑱.....略 面 | |
| ④.....ロードセル(トルグ検出用) | ⑨.....吊り上げワイヤー | ⑭.....ピストン(載荷用) | ⑲.....車体外板 | |
| ⑤.....試験タイヤ | ⑩.....載荷シリンダー | ⑮.....コネクナングロッド | ㉑.....舵角アーム | |

図5-20 すべり摩擦測定装置 (縮尺 1/10)

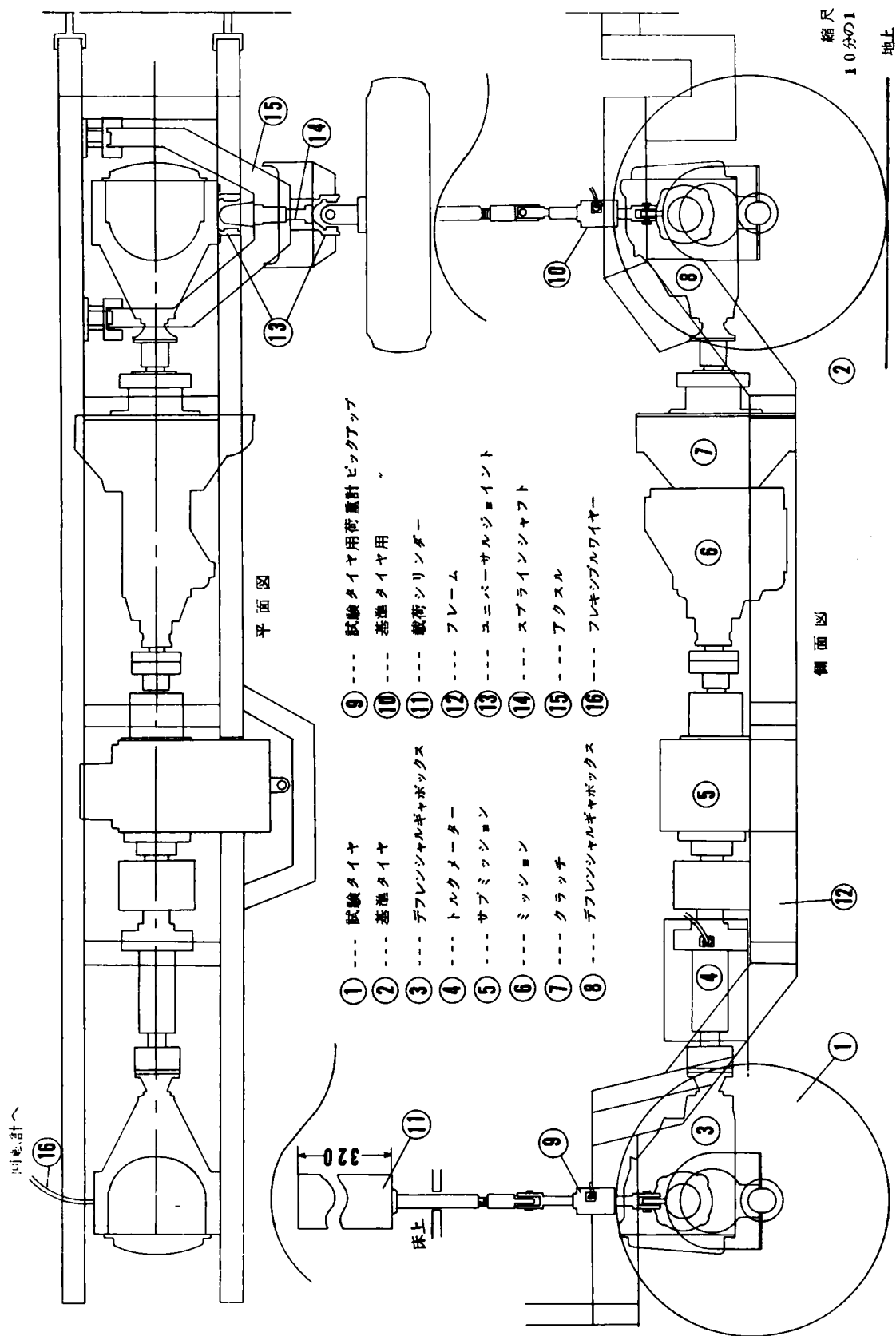


図 5-21 すべり摩擦測定装置 (縮尺 1/10)

実輪荷重
空 気 圧 ☐

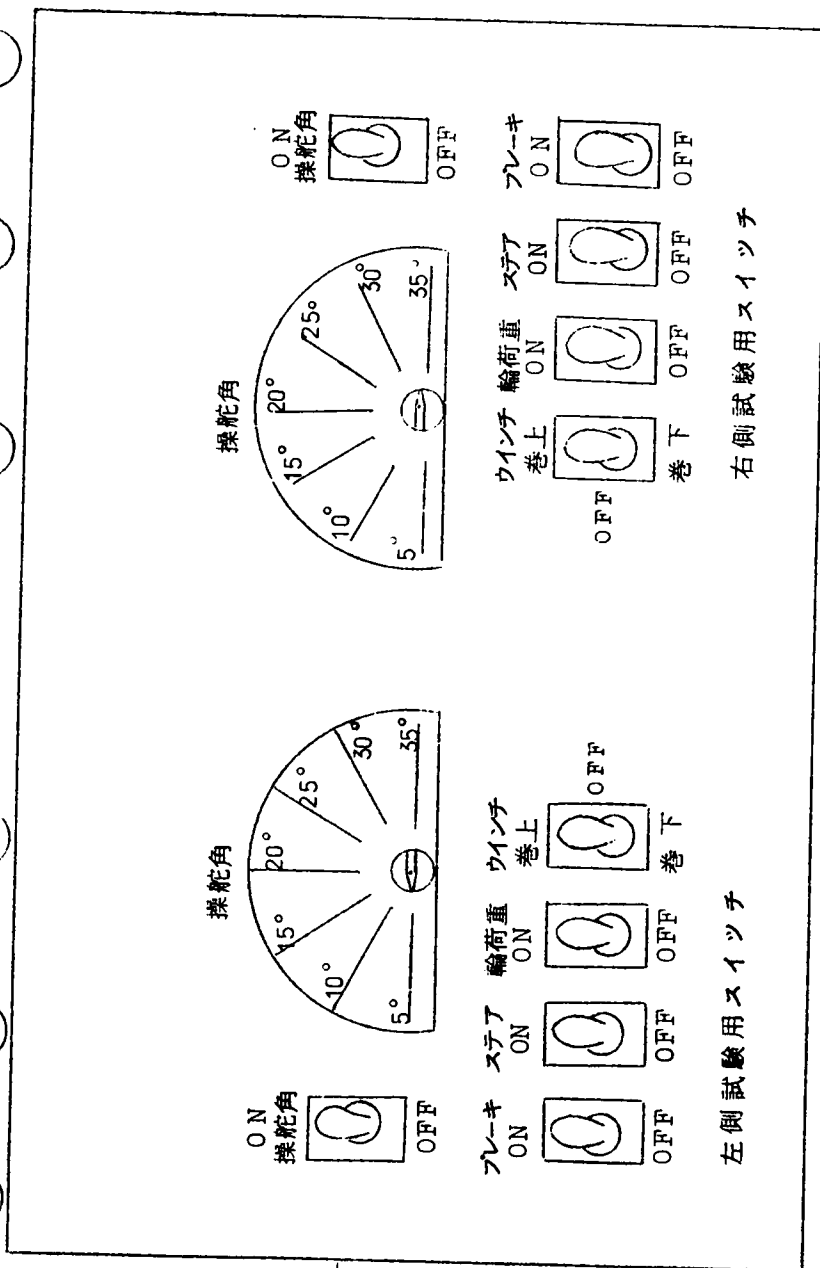
輪荷重用
空 気 圧 ☐

制動用空気圧 ☐

輪荷重用
空 気 圧 ☐

制動用空気圧 ☐

実輪荷重
空 気 圧 ☐



右側試験用スイッチ

左側試験用スイッチ

図 5-22 操 作 盤 配 置 図

第 6 章 道路のすべり対策

§6. 1 概 説

道路のすべり摩擦係数が減少した場合、それは何等かの形で事故に結びつくので常に注意しなければならない。

道路のすべり対策は、すべりに関係するすべての面について検討しなければならない。本章においては路面以外の要素すなわち運転技術および制動機構もすべりに関係することをのべ。次いでタイヤの種類とすべり摩擦係数について、普通路面に対しては一般のリブタイヤで十分であるが、製品（材質および踏面模様）による差について検討し、またスノータイヤおよびタイヤチェーンの効果についても検討した。

舗装のすべり対策としては、コンクリート舗装について結合材（セメントペースト）のすべり摩擦係数と配合の関係および、仕上の問題を検討し、普通のすべり摩擦係数値は特に大きくはないが、比較的安定していることをのべている。トンネル等漏水による沈澱物の対策についてものべた。

アスファルト舗装については、結合材（アスファルト）のすべり摩擦係数がほとんど0であり、したがって配合およびフラッシュの問題が最も重大である。摩擦係数の範囲も大きいものから小さいものまで広く分布しており、経年的にも変化するので注意を要することについてのべた。

なお氷雪路面のすべり対策については第7章でのべる。

表 6-1 英国における人身事故と路面のすべり（1958年）

路面状態	路面のすべりが関係した事故の件数	人身事故の全件数	路面のすべりが関係した事故の割合(%)
乾 燥	1 2, 7 3 0	1 5 3, 7 4 0	8
湿 潤	1 9, 2 0 0	7 1, 9 7 0	2 7
雪 氷	6, 1 9 0	8, 4 9 0	7 3
計	3 8, 1 2 0	2 3 4, 2 0 0	1 6

表 6-2 英国における道路形態とすべりによる事故との関係(1954年の重大事故)

道 路 形 態	濡れた路面上における事故	
	すべりに関係した事故 件 数	すべりに関係した事故の 全事故に対する割合(%)
曲 線	1,030	40
見通しの効かない屈曲	220	40
丘 陵	760	33
ロ - タ リ -	50	30
Y 交 差	150	26
T 交 差	810	26
そ の 他 の 交 差	60	22
直 線	1,220	20
十 字 路	400	17
合 計	3,990	24

表 6-3 道路条件と事故原因の関係

道 路 条 件	事故原因	前方不注意	徐行違反	追越不適当	わき見運転	連続進行	スピード違反	右折不適当	直前横断	安全確認不徹底	対向車通行	信号無視	白紙	その他	計
工事中の標識照明の不備							1								1
工事中の交通量多し	1				1	1		1						3	7
砂利道その他路面の凹凸														2	2
局部的舗装面の破損				1										3	4
スリップしやすい路面	7	25	3	1	4	5	2	2	5	2			1	16	73
幅員の急な変化	1					1								5	7
路肩の状態不良、軟弱														1	1
路肩の状態不良、肩落														2	2
運転を眩惑させるような自然条件														1	1
見通し悪し(昼間)	2	5	3			1	2			1				4	18
見通し悪し(夜間)	1	1	2	1			1		1	1				5	13
急カーブ	2	13	7			3	1	1		5			1	14	47
急こう配	1	4	3			1	1			1				7	18
長大な直線区間	4	1	8	4	2	2	1	1					3	8	34
道路標識の不備			2	3		1	1	1			1			1	10
駒止め、ガードレールの破損不備				1										1	2
区画線の不備	1	1												2	5
駐 車(合法)	5	1	9			1	2		1	1			1	10	30
駐 車(非合法)		2							2					3	7
危険標示の不設置	2	1					1						1	3	8
合 計	27	56	40	7	9	18	10	7	7	11			7	91	290

(注) 昭和35年9月10日～同年10月9日までの1カ月間
国道1号線多摩川大橋から尾張大橋に至る間

表6-4 道路欠陥別事故率

欠 陥 種 類	事 故 件 数	比 率 %	道 路 欠 陥 の 比 率 %
欠 陥 な し	17,610	82.5	—
見 通 し 不 良	1,732	8.1	4.63
す べ り や す い	1,145	5.4	3.06
凹 凸 破 損	436	2.0	11.6
工 事 中	354	1.6	9.5
水たまり・ぬかるみ	76	0.4	2.0
計	21,353	100.0%	100.0%

(東京都内 昭和39年4, 5, 6月計 科警研)

表6-5 すべりが原因の事故の全事故に対する比

道路種別	年 度	すべりが第1原因である事故率	すべりが原因の1つに入っている事故率
全 国 事 故	38年	$6,765/517,513 = 1.3\%$	
名 神	38~40年	3.0%	
一 般 有 料	36年	$27/649 = 5.4\%$	
横 浜 新 道	35~38年	$2/268 = 0.7\%$	$29/268 = 10.8\%$
京 葉 道 路	—	0	$5/441 = 1.2\%$
箱 根 新 道	37~38年	$5/128 = 3.9\%$	$15/128 = 11.7\%$
真 鶴 道 路	35~38年	$2/120 = 1.7\%$	
湘 南 道 路	—	0	
参 宮 道 路	—	0	
阪 奈 道 路	34~38年	$44/175 = 25\%$	

§6.2 道路のすべりと事故の関係

路面のすべり摩擦係数が減少すると、走行の自由を失ない、走行不能になるか、または事故を起すようになる。走行不能は特に摩擦係数の小さいときであって、氷雪上の発進等で見られるものである。事故に関連するすべり摩擦の問題は(1)縦すべり摩擦係数と制動停止の問題、(2)左右の摩擦係数の差と制動時の車両の回転、(3)前後輪の摩擦係数の差と制動時の首振り運動、(4)横すべり摩擦係数と車両の横方向偏走、および操舵性等有り、しかもこれらの2つ以上が組合わされて事故が発生している場合が多い。

また事故は道路条件の絶対的な理由のみで発生することは非常にまれで、多くの場合道路条件と運転者の人間工学的条件が重なっているのである。これらの状況を各種の資料を中心に検討すると次のようになる。表6-1、表6-2は英国¹⁾における資料の一部である。これによると路面のすべりが関係した事故の全事故に対する比率は約16%であり、さらに湿った路面上ですべりが関係した事故は約24%となっている。わが国の資料についてみると、表6-3は国道1号線において特別に調査したものであるが、すべりが原因と考えられるものが25%に達している。表6-4は東京都内の事故統計²⁾よりとったものであるが、すべりが原因となっている事故は約54%である。さらに表6-5³⁾をみると、すべりが第1原因となっている事故は1~5%であり、すべりが原因の一部となっている事故は1~10%と考えられる。これらを総合するとすべりが原因となっている事故は場所によって異なるが0~25%程度であり、わが国ではすべりが第1原因となっている事故は2~5%程度であると考えられる。しかしすべりが原因の一部となっている事故は10~25%と考えられる。

これらの統計は事故調査に当たった人の主観が多く左右し、実際には事故のほとんど総べてはすべりの影響をうけ、すべり摩擦係数が大きい場合は、事故は防止できないまでも、損害を少なくすることができたと考えられる。したがって事故を防止する上からは路面のすべり摩擦係数はできるだけ大きい方がよいが、しかし舗装としての限界もあり、道路構造および、自動車運転の標準に適合した§4.11に示す基準以上を確保することがのぞましい。

§6.3 一般的なすべり対策

自動車の道路面に対するすべり対策としては(1)運転技術、(2)制動機構、(3)タイヤおよび附属物、(4)路面の性状、の各々について検討すべきであり、それらが総合されて始めて完全なすべり対策ができることになる。本節においては(1)(2)(3)について一般的にのべる。

〔 1 〕 運転技術

運転技術は直接すべり摩擦係数に関係するものではなく、むしろ事故との相関として考えるべきものである。しかし § 3 . 3 においてのべた如く、自動車の横方向のすべり摩擦はタイヤ回転時には大きく、ロックすると急に小さくなるので、偏走をさける必要が大きい場合には運転者はなるべくロック制動をしないように注意しなければならない。曲線部におけると同様に氷雪上においてもロック制動したために横すべりして事故を起すことが多いのである。

縦すべり摩擦についても § 2 . 2 でのべたようにタイヤと路面の相対速度が小さい場合（静止摩擦に近い状態の場合）摩擦係数は大きく、完全すべりの状態になると小さくなる。また同じ完全すべりの状態であっても § 4 . 5 でのべたように走行速度が増大するにつれて摩擦係数は小さくなり、この現象はとくに湿潤状態の場合にいちじるしい。したがって高速走行している場合、最初はなるべくロックしないように制動することが必要である。急制動を要する場合でもポンピングブレーキ等（ブレーキペダルを継続的に何回も踏んで急激に車輪のロックと無制動を繰り返すこと）を行なうのもよい。ポンピングブレーキの場合 100 % スリップを永く保持しないで、それよりすべり率の小さい、したがってすべり抵抗の大きい状態で制動を効かせることができる。特に高度の技術として同調ブレーキ（自動車のピッチング周期と同調するようにポンピングブレーキを踏むこと）も効果的である。

〔 2 〕 制動機構

自動車の制動機構が完全であることは何よりもまず必要である。ブレーキドラムの中で滑るようなものはもちろん十分制動はできない。前後左右のブレーキが不均等であつたりすると回転および偏走を起す。左右のブレーキが均等でなければならぬことは自明であるが、前後の関係も重要である。一般に前輪よりも後輪のブレーキのききがよい場合、ブレーキを順次強く踏むと後輪の方が先にロックし、ロックすると急に横すべり抵抗が減少するので後輪が横移動を始め、（尻振り現象）ついには自動車が 1 回転することがある。

さらに高級な制動として要求されるのは 100 % ロックでない機構である。

これは構造的になかなか困難で現在まだ達成されていないが、前述のポンピングブレーキを行なうような機構については一部実験が行なわれているが、まだ実用には致っていない。

〔 3 〕 タイヤおよび附属物

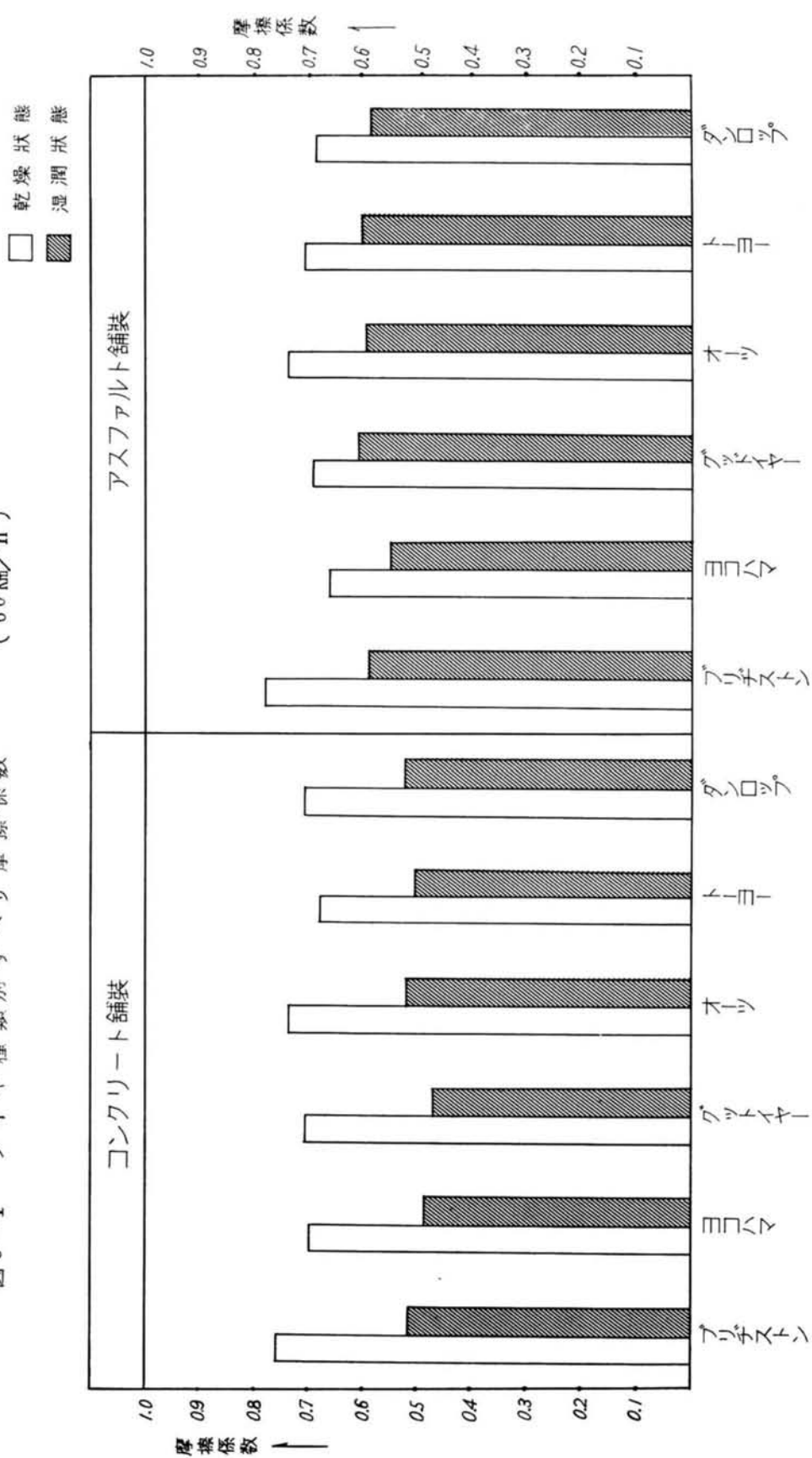
タイヤによってすべり摩擦係数が異なることは当然である。これらタイヤのゴム質、踏面模様等については § 2.3 および § 4.3 でのべた。ここではこれから実際のタイヤのすべり効果についてのべる。まず普通の舗装路面（乾燥、湿潤）については現在最も広く一般に使用されているリブタイプのタイヤが最も良い。表6-6 および図 6-1 に示すように製造会社のゴム質および踏面模様による差はほとんど見られない。

表 6 - 6 各種タイヤのすべり摩擦係数値

	種別	乾 燥 状 態			湿 潤 状 態		
		20 Km/h	40 Km/h	60 Km/h	20 Km/h	40 Km/h	60 Km/h
コンクリート舗装	ブリヂストン	0.797	0.748	0.759	0.743	0.580	0.517
	ヨコハマ	0.710	0.701	0.698	0.655	0.556	0.489
	グッドイヤー	0.718	0.707	0.704	0.661	0.580	0.469
	オ ー ツ	0.732	0.692	0.734	0.684	0.582	0.516
	ト ー ヨ ー	0.708	0.703	0.680	0.674	0.592	0.502
	ダンロップ	0.740	0.728	0.704	0.669	0.592	0.521
アスファルト舗装	ブリヂストン	0.746	0.748	0.774	0.779	0.684	0.588
	ヨコハマ	0.704	0.716	0.659	0.725	0.724	0.549
	グッドイヤー	0.712	0.735	0.689	0.795	0.664	0.607
	オ ー ツ	0.714	0.703	0.733	0.790	0.689	0.581
	ト ー ヨ ー	0.717	0.727	0.704	0.787	0.708	0.599
	ダンロップ	0.721	0.702	0.684	0.742	0.681	0.582

路面が雪氷に覆われた場合は普通のリブタイヤではすべり摩擦係数が小さくなるのでスノータイヤ、タイヤチェーンまたはスパイクタイヤ等を使用しなければならない。これらのタイヤを使った場合のすべり摩擦係数値は雪氷

図 6-1 タイヤ種類別すべり摩擦係数 (60 Km/h)



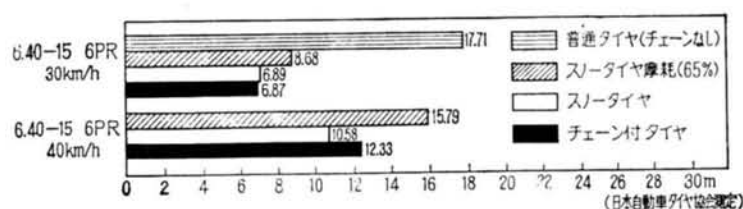


図 6-2 スノータイヤ制動停止距離図(普通乗用車、氷盤上にザラメ雪あり)

表 6-7 スノータイヤおよびチェーンの制動効果比較

区分	タイヤ種類	指定速度	近畿制動試験		中部制動試験		中国制動試験		東北制動試験		北海道制動試験	
		km/h	距離m	指数	距離m	指数	距離m	指数	距離m	指数	距離m	指数
小型乗用	スノー	30	2.6	$\frac{54}{100}$	3.46	$\frac{72}{100}$		$\frac{61}{100}$	6.89	$\frac{100}{100}$	11.9	$\frac{107}{100}$
	チェーン	30	4.8		4.80			$\frac{68}{100}$	6.87		11.1	
	スノー	40	6.4	$\frac{74}{100}$	6.46	$\frac{76}{100}$			10.58	$\frac{86}{100}$	23.3	$\frac{146}{100}$
	チェーン	40	8.7		8.55				12.33		16.0	
小型貨物	スノー	30	3.1	$\frac{34}{100}$				$\frac{94}{100}$				
	チェーン	30	9.0									
	スノー	40	11.8	$\frac{70}{100}$								
	チェーン	40	16.9									
大型バス	スノー	20	3.0	$\frac{81}{100}$	2.69	$\frac{62}{100}$	2.27	$\frac{98}{100}$				
	チェーン	20	3.7		4.35		2.31					
	スノー	30	6.4	$\frac{89}{100}$	(16.40)	$\frac{68}{100}$	20.45	$\frac{81}{100}$	9.91	$\frac{71}{100}$	18.3	$\frac{169}{100}$
	チェーン	30	7.2		(24.17)		25.25		12.98		10.8	
大型貨物	スノー	20	4.0	$\frac{80}{100}$			3.14	$\frac{85}{100}$				
	チェーン	20	5.0				3.71					
	スノー	30	8.9	$\frac{85}{100}$				$\frac{100}{100}$		$\frac{131}{100}$		
	チェーン	30	10.5									

の状態によって種々変化するのでなかなか定量的に把握することは困難である。図 6-2 はスノータイヤおよびチェーンの効果の一例を示したものである。
 また表 6-7 は日本自動車タイヤ協会が近年日本各地で行った測定の結果であ

表 6-8 スパイクタイヤの効果比較表
(イギリス)

30マイル/時で制動 したときの減加速度		普通タイヤに対 する改善率 %
普通タイヤ A	スパイク タイヤ B	$\frac{B-A}{A} \times 100$
0.62	0.63	2
0.58	0.64	10
0.46	0.50	9
0.35	0.45	29
0.22	0.31	40

A スパイク
B スパイクを打ったタイヤ

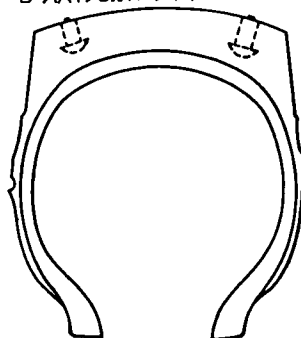


図 6-3 スパイクタイヤ

る。これらを見るとスノータイヤおよびタイヤチェーンを使った場合のすべり摩擦係数は普通タイヤに比して相当大きく、2 倍に達することもある。スノータイヤとタイヤチェーンの差は条件によって異なるがほぼ等しいと考えて差支えない。スパイクタイヤは最近製作され始めたものでスノータイヤとタイヤチェーンの効果の併用をねらったものである。これは図 6-3 のごとくタイヤのトレッド中に特殊合金（タングステン、カーバイト鋼）を入れたものである。この特殊合金はゴムとほとんど等しい摩耗度を持ち、しかも金属特有の硬さをもったもので、氷をひっかく作用はあるが、乗り心地は普通のタイヤと変わらないように考えられたものである。英国における効果測定例を表 6-8 に示す。表によるとスパイクタイヤは普通の路面ではあまり効果はないが、冰雪上等のすべり摩擦係数の小さい路面では効果が大きいことを示している。

〔 4 〕 路面標示および特殊路面

各種の路面標示は一般にペイントを使用して行なう。ペイント面の湿潤時のすべり摩擦係数は非常に小さく、0 に近いので、すべりおよび事故の原因となりやすく、特に注意しなければならない。特に巾広くペイントを塗布する必要のある場合は（横断歩道のゼブラ模様等）耐摩擦材を混合したペイントを使用すべきである。

ペイントとは反対に、センターライン等で特殊のブロックを使用する場合がある。これら異種の舗装（またはブロック）のためにその部分だけすべり摩擦係数（すべり抵抗）が大きくなる場合もやはりよくない。特にセンターラインの場合その上で制動して、左右の抵抗差によって車両が対向車線方向に回転するので危険である。

〔 5 〕 路面のよごれおよび仮設路面

舗装面にじんあい等が多い場合すべり摩擦係数が減少することは明らかである。特によごれた面が湿潤になった場合最もすべりやすくなるので注意すると同時に常に路面は清浄に保つようにしなければならない。単なるじんあいではなく別表 3.10 のように舗装面にカルシウム分等が沈殿するような場合は非常に摩擦係数が低下（0.2 以下）するので早急に除去しなければならない。鋼板等の仮設路面も別表 5. に示す如く湿潤時には摩擦係数が非常に低下（0.2 以下）するので、高速走行（40 km/h 以上）が予想される仮設路面は最小限鋼板に凹凸または小穴をつける必要があり、できれば表面に耐摩擦材の接着がのぞましい。雪氷路面もすべり摩擦係数が小さいので除雪、融氷等の対策が必要でありこれについては第 7 章でのべる。

§6.4 コンクリート舗装のすべり対策

普通のコンクリート舗装のすべり摩擦係数は § 4.8 より 35℃、60 km/h、湿潤状態で 0.45～0.55 の範囲にある。一方セメントペーストのみのすべり摩擦係数は表 4.3 より標準状態で 0.2 前後である。最も良質な骨材と考えられるエメリーを接着した舗装のすべり摩擦係数は標準状態で 0.65（別表 3-11）であり、シリカサンド使用の場合 0.6（別表 3-29）程度である。これらを総合して考えるとコンクリート舗装のすべり摩擦係数は 0.2～0.6 の範囲にあり、普通の状態で 0.45～0.55 である。したがって 0.55 より大きいすべり摩擦係数が必要な場合は普通のコンクリート舗装は適当ではなく、シリカサンド、エメリー等の特殊骨材の使用または接着を考えなければならない。0.45～0.55 程度の摩擦係数で十分の場合は普通のコンクリート舗装でよい。この場合骨材質が軟らかく平滑に磨耗するものはよくない。またセ

メント量を増加させるとそれだけ摩擦係数は低下するのでなるべくセメント量は少なくすることが必要である。

一般に他の条件を同一として、舗装表面の組成から合成摩擦係数を計算すると、次のようになる。

$$f = \sum (n_i \times f_i) \quad \text{..... (6-1)}$$

ただし f は全体の摩擦係数、 f_i は表面を組成する 1 単位のすべり摩擦係数、 n_i はその組成の表面積が占める比率である。いま舗装が結合材と骨材の 2 種類で組成されているとし、結合材の配合比を体積で p とすると、次のようになる。

$$f = p^{\frac{2}{3}} f_c + (1 - p^{\frac{2}{3}}) f_g \quad \text{..... (6-2)}$$

ここで f_c はセメントペーストのすべり摩擦係数、 f_g は骨材のすべり摩擦係数である。舗装体の配合比と表面占有比は、材料の性質が異なる場合、一般には $\frac{2}{3}$ 乗には比例しないのでその係数を k とすると次のようになる。

$$f = k p^{\frac{2}{3}} f_c + (1 - k p^{\frac{2}{3}}) f_g \quad \text{..... (6-3)}$$

k は結合材の付着力を考えると 1.0 よりいくぶん大きい数字と考えられる。これらの式を用いて実際の舗装面のすべり摩擦係数を試算してみると、 $f_c = 0.2$ 、 $f_g = 0.55$ 、 $k = 1$ 、として一般の配合範囲 $p = 0.1 \sim 0.15$ では

$$f_{0.1} \doteq 0.47, \quad f_{0.15} \doteq 0.45 \quad \text{..... (6-4)}$$

これらの数値は実際に測定してえられるすべり摩擦係数値とほぼ一致している。

以上の結果コンクリート舗装の場合、結合材の多少によるすべり摩擦係数の差は比較的小さい。しかし何等かの事情によって特に富配合のものを作った場合すべり摩擦係数は当然 (6-3) 式によって減少する。また舗装の仕上げのとき表面にモルタルまたはレイトランスの層がのけると部分的に非常に富配合のものとなり、上述によって摩擦係数は低下し、セメントペーストの 0.2 に近づくので十分注意しなければならない。一方掃目等で特に粗面に仕上げても特別に摩擦係数の増大は期待できない。

すべり止め対策としてコンクリート舗装面に格子状またはリング状のすじを入れる場合があるが、その効果はブロック舗装と同様高速走行時にはあまり期待できない。特にすじの中に水分、じんあいなどが滞留すると降雨の始めとか、冬季積雪凍結時には、逆に悪い影響を及ぼすのであまりよくない。

コンクリート舗装が経年的に特にすべりやすくなるのは、特に悪い骨材を使用した場合以外は外的原因（油脂、じんあい、カルシウム分等の付着）による場合が多く、化学的または物理的にこれらの付着物を除去すると元のすべり摩擦係数にかえる。合成樹脂等を使用して表面に耐摩擦材（エメリー、シリカサンド等）を接着する工法は最も効果が大きいが工費が高くなり、耐久性は比較的少ない。トンネル内に漏水がありコンクリート舗装面に沈澱物が付着した首都高速道路三宅坂トンネルでは塩酸洗い（ $50 \text{ Kg} / 100 \text{ m}^2$ ）およびエメリー接着（ $5 \text{ Kg} / \text{m}^2$ ）を行なったが、§ 4.2 に示すようにいずれも良好な結果をえており、塩酸洗いの結果はほぼ他のコンクリート舗装面と同じすべり摩擦係数を回復し、エメリー接着は他のコンクリート面よりも大きいすべり摩擦係数をえている。

一般にコンクリート舗装はアスファルト舗装のようにフラッシュしたりすることがないので対すべり特性は安定している。しかしアスファルト舗装に比して特に摩擦係数が高いこともない。

§ 6.5 アスファルト舗装のすべり対策

普通のアスファルト舗装のすべり摩擦係数は標準状態で $0.4 \sim 0.6$ であって、コンクリート舗装とほぼ等しいが範囲はやや大きい。アスファルトペーストのみの摩擦係数は表4-3のように標準状態でほとんど0に近いと考えられる。エメリー、シリカサンド等を接着したときの摩擦係数が $0.6 \sim 0.65$ であるのは先にのべた。すなわちアスファルト舗装のすべり摩擦係数は非常に広い範囲にわたっており $0.0 \sim 0.6$ の間にあると考えられる。良好に施工され、維持されているアスファルト舗装の中には摩擦係数が標準状態で $0.5 \sim 0.6$ 程度のものは別表からも数多く見られる。一方摩擦係数が 0.4 より小さくなった所も数多く、ここには測定値は少ないが（一部別表2-13）フラッシュしたり、シールコートの過量のため表面がアスファルトで覆われて摩

摩擦係数が0に近くなった舗装も多い。

アスファルト舗装の配合とすべり摩擦係数の関係については数多くの実験研究が行なわれているが、いまだに決定的な結論はえられていない。また今まで行なわれた各種のすべり止め舗装の測定値については§4.8でのべたがいずれも明瞭な効果は期待できない。たゞ舗装表面のアスファルト量が多い場合すべり摩擦係数が小さくなることは明らかであるので、十分な強度（耐久性）をもちながら最もアスファルト量の少ない配合とすることが望ましいと考えられる。アスファルト舗装の配合とすべり摩擦係数の関係も基本的にはコンクリート舗装の場合と同様に（6-1）式によってえられる。さらに次のようになる。

$$f = kp^{\frac{2}{3}} f_a + (1 - kp^{\frac{2}{3}}) f_g \dots\dots\dots (6-5)$$

ここで f_a はアスファルトペーストのすべり摩擦係数である。（6-5）式に $k = 1$ 、 $f_a = 0.1$ 、 $f_g = 0.55$ 、 $p = 0.05 \sim 0.12$ を入れて計算すると

$$f_{0.05} \doteq 0.49 \qquad f_{0.12} \doteq 0.44$$

これらの数値は実際に測定してえられるすべり摩擦係数値とほぼ一致している。以上の結果アスファルト舗装の場合、結合材の多少によるすべり摩擦係数の差は大きくなる。

アスファルト舗装はコンクリート舗装に比して湿潤時結合材（アスファルト）の摩擦係数が全く期待できないのが欠点であるが、一方結合材の混入量はコンクリート舗装（ 310 Kg/m^2 として約13%）に比して少ない（4～12%）のが長所であり、コンクリート舗装よりも大きい摩擦係数のものがえられるのもここに原因があると考えられる。別表3-2の20号線の舗装がいずれも摩擦係数が大きいのはアスファルト量4.8%も原因の一つであると考えられる。アスファルト舗装でアスファルト量を少なくするためには粒度配合を検討すると同時に、定着力の大きい結合材の使用が考えられる。ゴム混入アスファルトは定着力が大きく、また感温性が少ないのですべり止め舗装用には適当である。そのほかにも定着力の大きい高分子重合物の使用が考えられる。

アスファルト舗装の場合もすべり抵抗の大きい骨材を使うことが望ましいのは当然である。アスファルト舗装の仕上げにシールコートを行なう場合はよほど慎重に施工しないと表面がアスファルトで覆われるのですべりやすくなる。シールコートには十分量の骨材の圧入を行なわなければならない。最近シールコートの施工は少なくなったが、なるべく施工しない方がよいと考える。特に冬季にシールコートを施工する場合はアスファルトがすぐ冷却して骨材の付着が悪くなるので、他の特殊工法、特殊材料を使用しなければならない。アスファルト舗装がフラッシュした場合も早急に骨材を散布圧入するとか、表面の過剰なアスファルトを加熱して取り除いたり、軽油でとったり、軽油処理した碎石を散布する方法もある。またフラッシュまでに至らないでもすべりやすくなった舗装面を加熱して骨材を圧入する方法も一部で行なわれ⁸⁾(図6-4)効果をあげている。

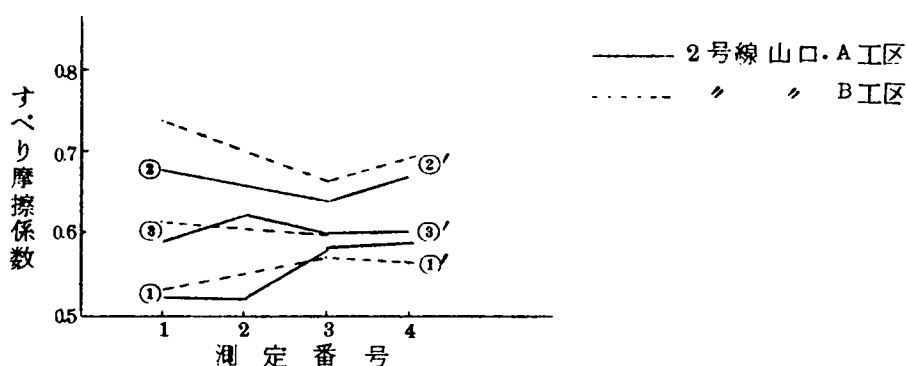


図6-4・a アスファルト舗装骨材圧入効果
(①は施工前、②は施工直後、③は2ヶ月後)

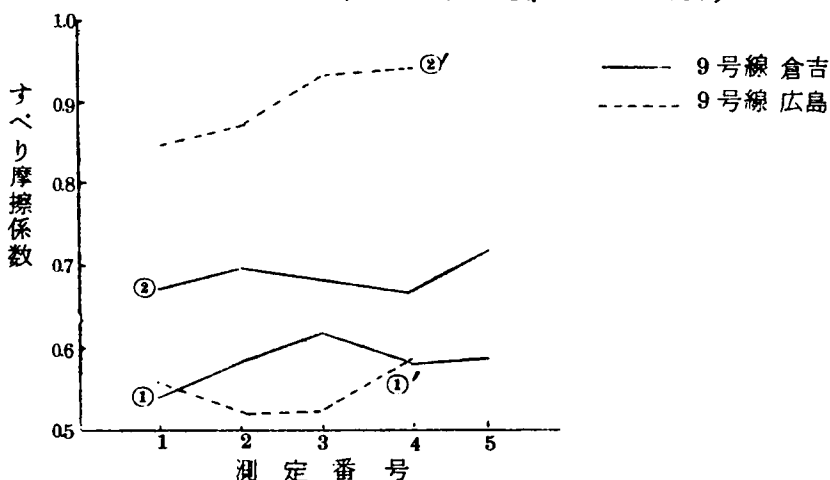


図6-4・b アスファルト舗装・骨材圧入効果
(①は施工前、②は施工直後)

これらを総合するとアスファルト舗装のすべり摩擦係数は広い範囲にわたっており、良好なものはコンクリート舗装と同等か、やや大きい摩擦係数をもっている。しかし表面のアスファルト量が多くなるとそれに比例して摩擦係数は急激に低下し、フラッシュしたような場合は0に近づくので非常に危険である。したがってこのような状態にならない配合を決定することがアスファルト舗装を耐摩擦性に保つ方法と考えられる。

§ 6.5 結 語

道路のすべり対策としては、すべりに関係するあらゆる面について十分に対策をたてなければならない。運転技術、制動機構もすべり摩擦による制動効果に関係するので十分検討しておかなければならない。タイヤの種類およびチェーン等の附属物については、普通の舗装面を走行する場合は一般市販のリブタイヤで良好であり、製品による差はほとんどない。しかし路面に雪氷がある場合はその状況に応じてスノータイヤ、タイヤチェーン、スパイクタイヤ等を使用しなければならない。スノータイヤとタイヤチェーンの差はあまり明らかではないが、積雪上ではスノータイヤの効果が大きく、氷盤上ではタイヤチェーンの方が効果は大きいようである。

舗装面のすべり対策としては、セメントペーストのすべり摩擦係数が0.2、アスファルトのそれが0であることに注意し、いずれの舗装においても良質の骨材を使用することと、結合材の量を少なくすることが必要である。コンクリート舗装では骨材およびセメント量の外に、仕上時に表面にセメントペースト（レイトンス等）の層を作らないようにすることが必要である。一方アスファルト舗装は骨材およびアスファルト量の外に、舗設後フラッシュして表面が多量のアスファルトで覆われることのないような配合にすることが必要である。一般にコンクリート舗装は摩擦係数の範囲が小さく、経年的な変化もあまりないのですべり特性は安定である。一方アスファルト舗装は摩擦係数の範囲が大きく、良好なものはコンクリート舗装より大きい摩擦係数のものもあるが、小さいものもあり、しかも経年的に変化するので常に注意していなければならない。路面標示のペイント等すべり摩擦係数の異なるものがある場合は危険であるので注意しなければならない。

参 考 文 献

- 1) "Research on Road Safety." Road Research Laboratory. 1963.
- 2) 「交通事故特性の研究」科学警察研究所資料第43号.
- 3) 「交通事故対策に関する調査報告書」高速道路調査会、昭和40年3月.
- 4) 「中部管区スノータイヤ公式試験報告書」日本自動車タイヤ協会 昭和39年11月.
- 5) 「近畿管区スノータイヤ公式試験報告書」日本自動車タイヤ協会 昭和40年1月
- 6) 「中国管区スノータイヤ公式試験報告書」日本自動車タイヤ協会 昭和39年1月
- 7) 「スノータイヤ性能試験報告書」日本自動車タイヤ協会 昭和36年3月
- 8) 福永典次「ヒーターブレーナーによるすべり止め工法について」第20回建設省技術研究会
1966.

第 7 章 雪氷路面のすべり対策

§ 7.1 概 説

各種路面状況の中ですべり摩擦係数が最も小さくなるのは雪氷路面である。路面が雪氷で覆われた場合その厚さの大小にかかわらず、路面のすべり摩擦係数は本来の舗装路面のすべり摩擦係数とは無関係に非常に小さいものとなる。本章においてはこれらの状況およびその対策について論ずる。

まず道路が雪氷で覆われる状況およびその場合のすべり摩擦係数値について論じ、次いで雪氷路面のすべり対策を完全融雪工法とすべり摩擦係数増加工法に分け、完全融雪工法としての電熱工法、温水工法およびその効率、実用性について論じ、次いで薬剤散布工法の完全融雪としての使用と、すべり摩擦係数増加工法としての使用法についてのべ、とくに少量の塩化物を継続散布した場合、雪氷路面のすべり摩擦係数は一定値（0.4）に増大維持されるので、非常に有効である点について述べている。また耐摩擦材の散布工法およびその効果についても言及している。

§ 7.2 路面雪氷対策

〔 1 〕 路面凍結の原因

冬期間積雪寒冷な地方では道路が雪氷に覆われて、交通が不能または危険になることが多い。この対策として除雪と路面凍結対策がある。わが国においても積雪寒冷地の道路の冬期対策としては、まず交通を確保するために除雪に力が注がれてきたのであるが、最近除雪後の走行の安全性を確保するためには、すべり対策が必要であるということが明らかになり、各種の工法が採用されるようになった。特に交通量が増大し、運行が長距離化、高速度化するにつれて路面の良好な維持が強く要求され、わずかの路面凍結でも交通麻痺の原因となることがしばしばである。

路面凍結の原因としてまず第一に考えられることは、除雪の後に残った雪である。降雪中または積雪後除雪前に通行車によって踏み固められた雪は、

除雪後も路面に密着して残ることが多い。またあまり踏み固められないうちに完全に除雪しようとしても、排雪板と路面の間に若干の雪が残ることは避けられない。また除雪を必要としないようなわずかの降雪もあり、また一度除雪して路肩に捨てられた雪が、風その他によって路面にまきだされることもある。これらの雪が低温のために路面に凍り付いたものが普通に見られるものである。これらは比重0.1～0.5程度であって雪に近い圧雪状態である。次いでこれらの雪が日中の暖い気温で融解し、その後の温度低下によって再び氷結するとか、降雨の後に気温が低下して路面水が氷結する場合がある。これらは比重が1.0に近く滑りやすい氷となる。最も滑りやすい凍結は、地熱の放射その他の原因で地表面が氷点以下になったところへ、飽和状態に近い湿った空気が流れこみ、路面に凍結を起したものである。この種の凍結はわが国ではあまり起らないが、ヨーロッパではしばしば起る現象である。この種の凍結は最も滑りやすく危険であるので早急に対策を実施しなければならない。

〔 2 〕 雪氷路面のすべり

路面に積雪があったり、表面水が凍結したりした場合のすべり摩擦係数は舗装面本来のすべり摩擦係数とは全然異なったものとなる。通常この場合のすべり摩擦係数は非常に小さなものとなり、これらの測定値を別表4に示す。一般に平滑な氷盤路面のすべり摩擦係数は最も小さく0.1～0.2程度であり、普通の氷盤とか、新雪の踏み固められたものは0.2～0.25程度である。降雪後1日以上経過したような普通の圧雪は0.25～0.3程度であり、古くなったざらめの雪とか、融け始めた雪などは0.3～0.4となる。かくの如く雪氷上のすべり摩擦係数は全体として小さいが、また雪氷の状態の変化に応じて広く変化する。したがって走行上雪氷路面は非常に危険であり、雪氷路面のすべり対策は最も重要視されなければならない。

〔 3 〕 雪氷対策工法

(1) 除雪工法

路面の雪氷対策として考えられる工法は第一に完全な除雪であり、次いで

凍結防止工法である。路面を完全に除雪した場合雪氷によるすべりの問題はなくなるのであり、また凍結防止工法をとる場合でも、なるべく雪氷量が少ない方が対策も容易であり、工費も少なくてすむ。また良好に除雪された路面は輻射熱の吸収もよく、その後の少量の降雪とか、吹きよせ雪も容易に融解して常に良好な路面を保つことができる。特に外気温が 0°C 以上の所ではこの状況が顕著である。

(2) 融雪工法

降雪量の多い所とか、外気温が 0°C 以下の所では除雪のみで路面を良好な状態に保つことはほとんど不可能であって、除雪とともに融雪対策をも実施しなければならない。融雪対策としては加熱法と氷点降下法がある。電熱または温水などによる加熱融雪と、薬剤の散布工法である。電熱による融雪は確実ではあるが設備費および電力料が高くつく。しかし特に重要な場所（分岐・合流地点、料金所前など）または危険な地点（線形の特に悪い所）には電熱融雪を行なうべきである。温水パイプによって融雪する方法も電熱と同様に確実であるが、現在のところ設備が複雑になり、あまり実用化されていない。しかし将来都市の集中暖房などが実施されて安価な温水が容易にえられるような所では実施の可能性がある。またわが国で現在長岡地方を中心として北陸、東北の一部で行なわれている地下水の散布による消雪工法はこの温水工法の一つと考えられる。

氷点降下法には薬剤を使用する。その一つの塩化物散布は塩化物溶液が水の氷点を降下させる性質を利用して融雪を行なうものである。氷点を降下させる薬剤としては塩化物の外にグリコール、尿素、亜磷酸などもあるが経済性の面から現在は主として塩化物（塩化ナトリウム、塩化カルシウム、塩化マグネシウム）に限定されている。

(3) 耐摩擦材工法[※]

融雪工法は降雪量の少ない所とか、豊富な地下水に恵まれた地域など以外は一般に高価となり、特に寒冷で雪の多い地方ではなかなか完全実施は困難である。このような場合最小限のすべり止め対策が考えられる。砂、碎石粉などの耐摩擦材の散布がこれである。また本研究の結果少量の塩化物の散布も雪氷のすべり摩擦係数を増加させるのに有効であることが明らかになった。

※耐摩擦材とは摩擦抵抗を増大させるような散布材をいう

もちろん塩化物と耐摩擦材の混合散布も可能である。これらの工法によってすべり摩擦係数は舗装面の数値よりは小さいが、あるていど増加し、道路の一般部の走行の安全を確保することができる。

また路面对策とは別にタイヤに対する対策としてスノータイヤの使用、チェーン付タイヤおよびスパイクタイヤの使用なども行なわれており、これら両者相まって雪氷路面上の走行の安全を確保している。

(4) 雪氷対策工法の組合せ

- 上述のように雪氷路面に対する工法は種々考えられるのであるが、それらの効果と費用が相反する場合が多い。電熱工法は最も確実であるが最も高価であり、耐摩擦材の散布は最も低廉であるがそれだけ効果は低い。一方実際の道路上においても要求されるすべり対策の程度は異なるのである。線形が良好で視距も大きく確保されている所では、ある程度のすべり摩擦係数（0.3）が確保されていれば安全走行には十分であるが、線形の悪い所とか、視距の小さい所、または制動およびハンドル操作の多い所では大きい摩擦係数（0.4程度）が確保されていなければならない。したがって同一路線は同一基準による雪氷対策を行なうと同時に、同一路線であってもその場所の状況に応じた工法と程度を採用すべきであり、全線に同一量の塩化物を散布するとか、全線にわたって電熱工法を採用することなどは不経済である。また線形条件が同一であっても気象条件が異なる場合も多く、峠部分とか橋梁上は凍結しやすい。一方地形的に吹溜りの生じやすい地点もあり、日光照射の関係で（南斜面と北斜面）凍結しやすい所と比較的路面が乾燥している所とがある。これら線形要素の上に極地気象条件を加えて各地点ごとに最終的に必要な凍結対策基準を作り、その基準に応じた各種工法を組合せて計画実施すべきである。

§7.3 薬剤による路面凍結対策

さきに述べたように薬剤による凍結対策は融雪氷を目的としたものと、ある程度のすべり摩擦係数の増加を目的としたものの二種がある。

〔1〕 薬剤による雪氷の融解

(1) 薬剤の種類別特性

薬剤による融雪氷は氷点降下の問題である。氷点降下に最も経済的な薬剤を見いだせばよいことになる。普通一般には塩化物が使用されている。¹⁾²⁾³⁾しかし塩化物は動植物に対する塩害および金属に対する発錆作用がある。尿素、グリコール、亜磷酸系⁴⁾のものはこのような弊害はないが氷点降下率が小さくしかも高価である。これらの性質を表7-1および図7-1に示す。塩化ナトリウムは塩化物のなかでも最も容易に入手でき、特に岩塩、素製塩は価格も安く、しかも -10°C 程度までは氷点降下率もよいので広く使用されている。しかし最低氷結点は -22°C であるので、低温になると効率が悪くなる。

また塩化カルシウム、塩化マグネシウムに比べて潮解性が少なく、特にフェロシアン化カリ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$)またはフェロシアン化ソーダ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$)を添加しておくとも固結は完全に防止できて貯蔵散布が容易になる。また塩化ナトリウムには溶解熱、稀釈熱が吸熱反応であるという欠点がある。しかし一般に塩化マグネシウム、塩化カルシウムは単体で存在する外に $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、および $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、

$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の形で存在している。しかも結晶水を含んだ形の方が安定であって、実際に使用しているものは $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ および $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の形のものが多い。常温で $6\text{H}_2\text{O}$ 以上の水を加えると始めて水溶液となる。これら結晶水を含んだ形よりの反応熱は表7-2の通りである。表7-2によると $\text{MgCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ および $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ のものはそれほど反応熱は期待できないことがわかる。

これら塩化物の種類別効果については数回⁵⁾⁶⁾の実験が行なわれたが明確な差

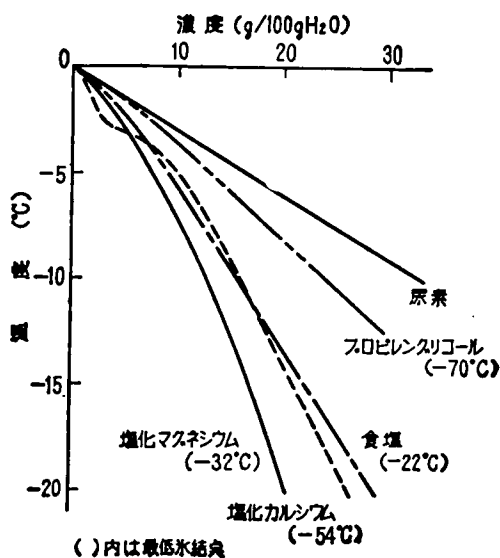


図7-1 融氷剤の氷点降下(水溶液として散布するものとする)

表7-1 融氷剤の性質

性 質	塩化マグネシウム	塩化カルシウム	食 塩	プロピレングリコール	トリプロピレングリコール	尿 素	亜磷酸
分 子 式	MgCl ₂	CaCl ₂	NaCl	C ₃ H ₈ O ₂	C ₉ H ₂₀ O ₄	(NH ₂) ₂ CO	H ₃ PO ₃
分 子 量	95.23	110.99	58.45	76.10	192.3	60.06	82.0
外 見	塊状粉末	粒 状	粉 末	液 体	液 体	粉 末	粉 末
吸 湿 性	潮解性	潮解性	小吸湿性			な し	な し
金属に対する作用	発 錆	発 錆	発 錆	無 錆	無 錆	無 錆	
動植物に対する作用	微小有害	微小有害	微小有害	無 害	無 害	無 害	
最 低 結 氷 点	-32°C	-54°C	-22°C	-70°C	-41°C		
溶 解 熱	+381 cal/g	+173 cal/g	-17.4 cal/g			+55.8 cal/g	0
稀 釈 熱	+40.2 cal/g	+13.0 cal/g	-9.6 cal/g				+46.7 cal/g

溶解熱 稀釈熱で+は発熱 -は吸熱を表わす。

表7-2 塩化物の反応熱

種 類	分子量	溶 解 熱 cal	無水物1 gの溶解 熱 cal	物質1g の溶解熱 cal	物質1g の稀釈熱 cal	摘 要
MgCl ₂	95.23	+3632	+381	+ 381	+ 402	溶解熱と稀釈熱は別々に得られたもので相関には、少し疑問点がある。
MgCl ₂ ・2H ₂ O	131.23	+204	+214	+ 155		
MgCl ₂ ・4H ₂ O	167.33	+100	+105	+ 60		
MgCl ₂ ・6H ₂ O	203.33	+ 294	+ 31	+ 12		
CaCl ₂	110.99	+192	+173	+ 173	+ 130	
CaCl ₂ ・2H ₂ O	146.99	+100	+901	+ 68		
CaCl ₂ ・4H ₂ O	182.99	+ 185	+163	+ 10.1		
CaCl ₂ ・6H ₂ O	219.09	- 456	-410	- 20.8		
NaCl	58.45	-1016	-174	- 174	- 96	

表7-3 薬剤散布必要量 g/m^2

気温 ℃	単 体			5 %			6 %			7 %			8 %		
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂
- 3	54	40	50	(-28℃)	200	(-3℃)	540	120	300	238	93	175	160	80	133
- 5	84	100	77	-	(-32℃)	-	(-36℃)	(-36℃)	(-38℃)	(-37℃)	(-41℃)	(-45℃)	(-47℃)	(-41℃)	2048
- 7	115	132	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-53℃)
- 9	147	151	122	注： (1) 融雪水量は、氷厚換算 1mm (1Kg/m ² の氷) とした時の値。 (2) 表中()内はその濃度の水溶液の氷点を示す。 (3) 薬剤量は無水塩の単体換算重量 (g/m^2) である。											
-11	176	173	140												
-13	204	193	157												
-15	232	214	172												
-17	257	236	186												
-19	280	256	199												

は発見できなかった。したがって実用上の効果はほぼ等しいと考え、価格が低廉で取扱の容易な塩化ナトリウムを主として使用すべきであり、特に低温な地方では塩化カルシウム、塩化マグネシウムを使用すべきであるとする。

(2) 薬剤の使用形態と効率

薬剤を散布使用する場合単体散布がよいか、溶液散布がよいかの問題がある。薬剤の濃度と氷点降下率が相関するのであるから当然濃度の高いものすなわち粉体散布の方が効率がよい。その一例を表7-3に示す。すなわち -3°C の場合5%溶液では()部分はすでに平衡状態になっているので全く融解作用はない。6%溶液の場合単体に比して3~10倍の薬剤を必要とする。 -5°C の場合8%までの水溶液ではいずれも融解不可能である。したがって水溶液は単に不経済であるばかりでなく、外気温が -4°C より低いような所では融解作用は全くなく逆に再凍結のおそれがあるので使用すべきでない。たと外気温の高い所では水溶液散布は少量の路面積雪に対して、雪に薬剤溶液をしみこませてみぞれ状にし、融解作用を促進させ、あるいはグレーダーなどによる除雪作業を容易にするという利点がある。

次に薬剤を単体で使用する場合の粒度については、粒子が小さいほど接触面積は大きいので反応は早くなる。粒子が大きいと全体的な反応は遅く粒子の周囲だけが融けて粒子は氷層の中に沈降してゆく。適当に粗い塩を散布すると塩は氷層にくいこんで沈降し、氷層をバラバラにする効果があり、さらに沈降して舗装面に達すると舗装面に付着している氷を剝離する効果もある。粒子の大きさと浸入深さの関係の例を図7-2²⁾に示す。したがって薬剤の粒度は使用目的に応じて変える必要があるが一般に塊状のものは反応が特におそく、一万粉末状のものはスプレッダーによる散布が困難なので粒状程度のものが良好である。

(3) 薬剤による融解経過

実際に道路で薬剤を散布した場合の反応は溶解反応と熱交換反応の2つを考えなければならない。例えば -1°C において1Kgの水(1mm厚、1m²の水)に塩化マグネシウムの単体40g(40g/m²に相当する)を使用した場合、 MgCl_2 、40gは溶解熱 $381\text{cal} \times 40\text{g} = 15240\text{cal}$ を発熱し、 $15240\text{cal} / 80\text{cal} = 190.5\text{g}$ の水を融かす。この場合 MgCl_2 の溶液濃度は

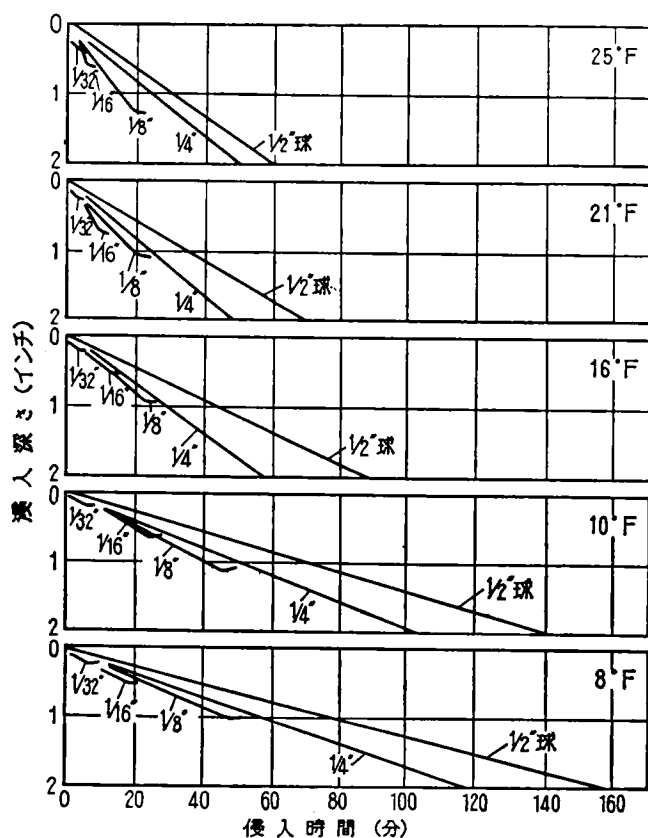


図7-2 岩塩の粒を氷に散布したときの時間と侵入深さの関係(米国)

表7-4 $MgCl_2$ による融解過程

	氷	水	$MgCl_2$	溶解濃度	温度	摘要
第一段階	1000g	-	40g	-	-1℃	
第二段階	809.5	190.5	40g	17.4%	-1℃	溶解熱
第三段階	709.5	290.5	40g	12.1%	-9℃	断熱稀釈
第四段階	-	1000g	40g	3.8%	-25℃	地熱等
第五段階	-	1000g	40g	3.8%	-1℃	地熱等

$40 / (1905 + 40) = 174\%$ となる。 $MgCl_2$ 、 174% の溶液の氷点は -15°C 附近であり、この溶液はまだまだ周囲の氷を融かす余裕をもつことになる。今これを断熱的に考えると、この溶液は周囲の氷を融かして、氷の融解熱に必要なカロリー分だけ全体が温度低下して、溶液は濃度が薄くなり、その溶液の濃度に応じた氷点と、降下した全体の温度がつり合って始めて反応は停止する。この場合概算でさらに $100g$ の氷を融解して $40 / (1905 + 40 + 100) = 12\%$ の溶液となり、そのために必要な $100g \times 80\text{cal} = 8000\text{cal}$ の熱をとり、それだけ全体の温度低下 $8000 / 1040 = 8^\circ\text{C}$ をきたし、全体は -1°C から 8°C 下って -9°C となり、 -9°C と 12% 溶液がほゞつり合って停止する。さらにこの溶液は地熱等を吸収して、 -9°C より温度上昇し、それだけ平衡濃度がうすくなり、周囲の氷を融解し、最終的には -2.5°C で $1000g$ を全部融解することになる。この状況を表 7-4 に示す。この場合第 3 段階までは内部反応であるので比較的簡単であるが、第 4 段階は周囲より熱吸収して行なわれるもので、周囲の温度および熱伝導の状況の良否により、反応時間の大小はさまざまであり、また平衡状態に近づくにつれて反応（溶解、熱伝導）速度が小さくなるので長い時間を要するのが普通である。

〔 2 〕 薬剤によるすべり摩擦係数の増大

一般に薬剤は雪氷を融解するための 100% 当量を散布すれば効果は良好であるが、実際には 100% 当量を散布した場合でも雪氷を完全に融解するのに長時間を要する。また経済的理由からも 100% 当量散布することはあまり考えられない。実際に薬剤を使用する場合 1 回に $50 \sim 30g/m^2$ 程度を散布するのが普通であり、降雪前の予備散布とか、雪氷が舗装面に密着するのを防止して除雪を容易にするなどの目的をもち、次いで融雪しようとするものである。しかし一部の地方では毎日少量の塩化物を散布することによって、融雪はできないでも路面状況が良好になったとの報告がなされている。本研究においても少量の薬剤散布によるすべり摩擦係数の増大の効果を測定するため昭和 40 年の冬東北地方（盛岡、青森、尾花沢）で実験を行なった。使用した薬剤の種類は $NaCl$ （上質塩、粉碎塩）を基準として、塩化マグネシウム（ $MgCl_2 \cdot 4H_2O$ ）、塩化カルシウム（ $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ）についても比

較調査した。散布量は各々1回50g/mとし、なるべく道路中央部3m巾に散布した。散布は毎日1回なるべく午前中に散布し、1回5cm以上の降雪があった場合は除雪作業を行ない、その後に散布した。すべり摩擦係数の測定結果は別表4-8～4-17の通りであり、これを図示したものが図7-3～図7-10の通りである。これらの図によると盛岡の実験ではいずれも薬剤を使用すると摩擦係数は0.05～0.1程度増大している。薬剤種別による差は明瞭ではない。尾花沢の実験結果は薬剤を使用したものの摩擦係数は0.1～0.2増大している。図7-6は薬剤散布場所では雪が融けてしまったので摩擦係数が特に大きくなっている。しかしこの場合も散布しない所では雪が残り、摩擦係数が0.2～0.3の小さい状況であるのに比べると非常に効果は大きい。薬剤の種類による差はこの場合にもあまり見られない。青森の実験結

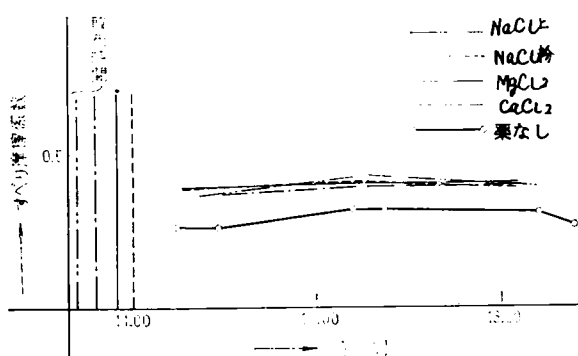


図7-3 40年1月29日 盛岡地区 加速度計による時間とすべりまさつ係数(スノー・タイヤ)

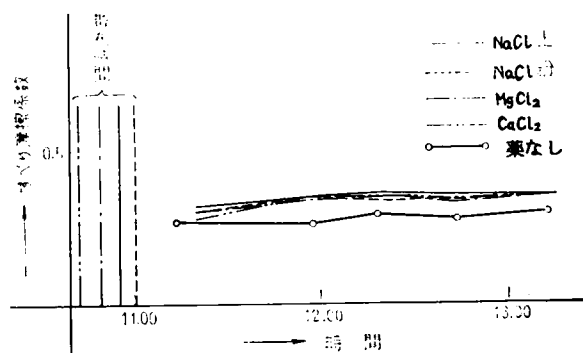


図7-4 40年1月29日 盛岡地区 大型試験車による時間とすべりまさつ係数(リップ・タイヤ)

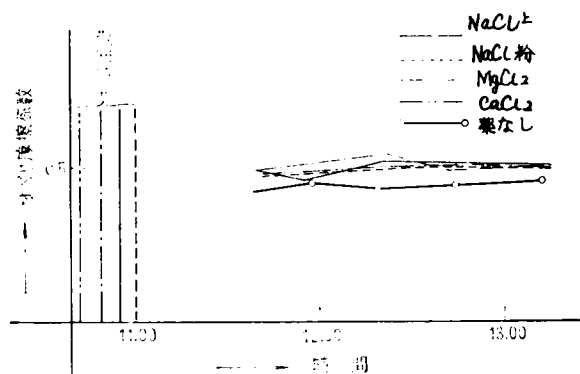


図7-5 40年1月29日 盛岡地区 大型試験車による時間とすべりまさつ係数(スノー・タイヤ)

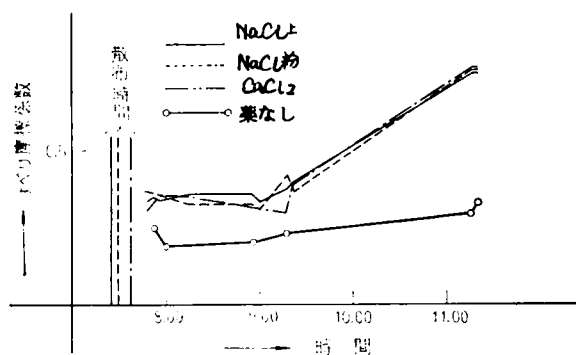


図7-6 40年2月2日 尾花沢地区 時間とすべりまさつ係数(スノー・タイヤ)

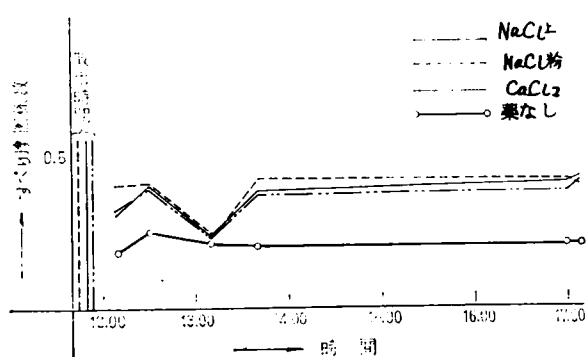


図7-7 40年2月3日 尾花沢地区 時間とすべり
まざつ係数 (スノー・タイヤ)

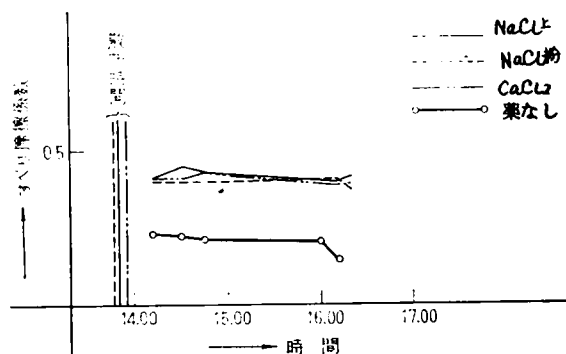


図7-8 40年2月4日 尾花沢地区 時間とすべり
まざつ係数 (スノー・タイヤ)

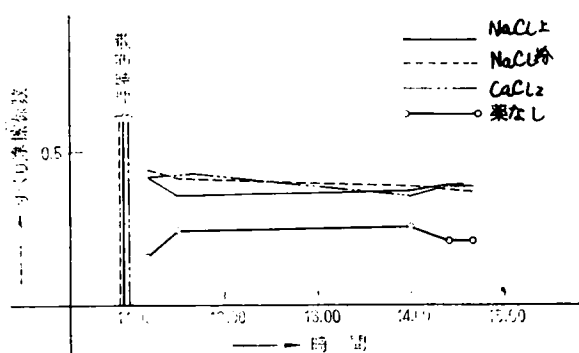


図7-9 40年2月5日 尾花沢地区 時間とすべり
まざつ係数 (スノー・タイヤ)

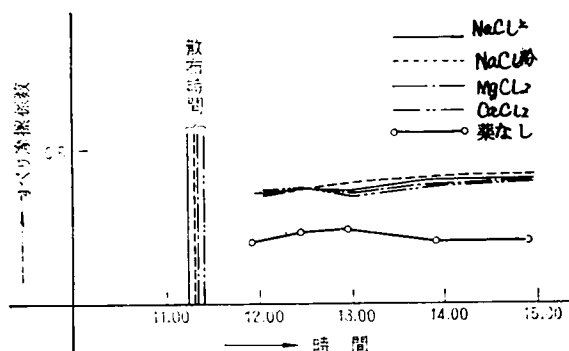


図7-10 40年2月25日 青森地区 時間とすべり
まざつ係数 (スノー・タイヤ)

果もほぼ同様である。これらを総合すると 50 g/m^2 程度の薬剤散布の場合すべり摩擦係数はいずれも増大している。散布しないものとの差は場所および日時によって異なるが散布した場所のすべり摩擦係数はほぼ $0.4 \sim 0.45$ (スノータイヤ) と一定している。すなわち 50 g/m^2 程度の塩化物を散布しておくで雪氷のはじめの状態 (塩化物を散布しないもの) のすべり摩擦係数 (この場合 $0.2 \sim 0.4$) の大小にかかわらず一定値 ($0.4 \sim 0.45$) に近づくことが明らかである。また塩化物の種類による差はないと考えられる。なお別表4-1～別表4-7において塩化物散布の効果がよくないのは、これらの測定は塩化物散布を1回だけ行なったものであり、しかも氷盤上に塩化物を散布した直後に測定したので全体の氷質が変化しないで塩化物落下点のみが融解した状態のもののすべり摩擦係数を測定したためと考えられる。

〔 3 〕 薬剤使用の実際

(1) 薬剤の理論使用量

まず塩化物を完全融雪氷の目的に使用する場合には、現地の雪氷の量と温度に対する氷点降下に必要な100%当量を散布しなければならない。実際にわが国において、これに必要な量を計算してみると次のようになる。⁸⁾すなわち冬期を12月、1月、2月、3月として各月の推定降水量が各月の日最低気温の月別平均値で凍結しているものとし、これを全部融かすのに必要な薬剤を求め、薬剤単価を20円/Kg、散布労力および作業用自動車燃料その他の単価を0.5円/Kg、道路巾員を平均6.5mとし、道路延長1Kmについての全冬期間の散布費用を計算すると表7-5の通りとなる。(気象データは理科年表による)。図7-1はこの散布費用をコンターラインで示したものである。これは除雪を考えないで総べての雪を薬剤で融解すると考えたものであるがいかに莫大な費用を必要とするかがわかる。



図7-11 凍結対策費用
一ト冬(12, 1, 2, 3月)単位1,000円 巾員6.5m 延長1Kmについて

表7-5 薬剤散布経費

地名	月	日最低気温 の月別平均	月別年 降水量 +3mm	月別年積雪日 数 20mm 未満 について 3mm 単位	推定降雪量 (単位 3cm)	氷点降下率	単位薬剤量 (g/m ²)	月別薬剤 散布経費	一ト冬の経費 (円)
広島	12	2.0	18	0					
	1	-0.4	13	4	8.5	0.004	102	13,311	19,184
	2	-0.1	23	7	15	0.001	45	5,873	
	3	2.2	35	2					
岡山	12	1.3	13	0					
	1	-1.1	10	1	5.5	0.012	198	25,839	68,904
	2	-0.9	17	5	11	0.010	330	43,065	
	3	1.7	25	0					
京都	12	0.9	18	1					
	1	-1.4	15	5	10	0.015	450	58,725	119,799
	2	-1.1	21	5	13	0.012	468	61,074	
	3	1.2	33	2					
彦根	12	1.9	36	5					
	1	-0.7	39	18	28.5	0.007	598.5	78,104	130,957
	2	-0.5	36	18	27	0.005	405	52,853	
	3	1.6	38	5					
岐阜	12	1.3	26	7					
	1	-1.3	22	11	16.5	0.014	693	90,437	138,983
	2	0.8	25	6	15.5	0.008	372	48,546	
	3	1.7	39	2					
東京	12	1.1	19	0					
	1	-1.5	14	2	8	0.016	384	50,012	82,311
	2	-0.5	26	7	16.5	0.006	247.5	32,299	
	3	2.2	32	2					
宇都宮	12	-2.7	11	1	6	0.028	504	65,772	
	1	-5.5	9	2	5.5	0.109	1,798.5	234,704	837,810
	2	-4.5	18	8	13	0.090	3,510	458,068	
	3	-1.4	25	2	13.5	0.015	607.5	79,279	
甲府	12	-2.2	14	2	8	0.024	576	75,168	
	1	-5.0	10	5	7.5	0.100	2,250	293,625	755,008
	2	-3.8	18	8	13	0.073	2,847	371,534	
	3	-0.2	23	2	12.5	0.003	112.5	14,681	
長野	12	-2.9	20	17	18.5	0.034	1,887	246,254	
	1	-6.3	19	45	19	0.125	7,125	929,813	2,119,191
	2	-5.8	17	36	17	0.118	6,018	785,349	
	3	-2.5	18	13	15.5	0.026	1,209	157,775	
福井	12	1.4	113	12					
	1	-1.4	108	45	76.5	0.015	3,442.5	449,246	781,238
	2	-1.5	68	38	53	0.016	2,544	331,992	
	3	0.7	53	18					
金沢	12	2.0	114	12					
	1	-0.7	93	38	65.5	0.007	1,375.5	179,503	357,440
	2	-0.9	64	37	50.5	0.009	1,363.5	177,937	
	3	1.1	56	18					
富山	12	1.3	104	19					
	1	-1.8	100	47	73.5	0.019	4,189.5	546,370	951,541
	2	-2.1	59	35	47	0.022	3,102	404,811	
	3	0.7	47	21					
高田	12	0.8	178	22					
	1	-2.0	175	59	117	0.021	7,371	961,916	1,957,892
	2	-2.3	116	55	85.5	0.024	6,156	803,358	
	3	-0.8	72	51	61.5	0.008	1,476	192,618	
新潟	12	1.3	76	14					
	1	-1.4	63	40	51.5	0.015	2,317.5	302,434	519,717
	2	-1.4	43	31	37	0.015	1,665	217,283	
	3	0.8	37	16					
福島	12	-1.3	19	16	17.5	0.014	735	95,918	
	1	-4.0	16	29	16	0.078	3,744	488,592	1,087,196
	2	-3.5	18	23	18	0.062	3,348	436,914	
	3	-1.1	20	8	14	0.012	504	65,772	
仙台	12	-1.4	15	11	13	0.015	585	76,343	
	1	-4.1	12	16	12	0.081	2,916	380,538	930,988
	2	-3.8	14	14	14	0.073	3,066	400,113	
	3	-1.3	19	8	13.5	0.014	567	73,994	
盛岡	12	-4.3	24	31	24	0.086	6,192	808,056	
	1	-7.7	18	54	18	0.139	7,506	979,533	3,399,003
	2	-7.2	18	50	18	0.134	7,236	944,298	
	3	-3.7	24	30	24	0.071	5,112	667,116	
山形	12	-2.7	41	30	35.5	0.028	2,982	388,151	
	1	-6.0	33	57	33	0.120	11,880	1,550,340	3,427,757
	2	-5.4	28	46	28	0.108	9,072	1,183,896	
	3	-2.8	26	29	26	0.030	2,340	305,370	
秋田	12	-1.7	52	25	38.5	0.018	2,079	271,309	
	1	-4.9	43	47	43	0.098	12,642	1,649,781	3,524,870
	2	-4.8	36	39	36	0.096	10,368	1,353,024	
	3	-2.0	35	26	30.5	0.021	1,921.5	250,756	
青森	12	-3.3	59	41	50	0.054	8,100	1,057,050	
	1	-6.9	53	61	53	0.131	20,829	2,718,185	6,489,113
	2	-6.7	38	55	38	0.129	14,706	1,919,133	
	3	-3.7	29	58	29	0.070	6,090	794,745	
旭川	12	-9.7	35	55	35	0.158	16,590	2,178,045	
	1	-15.0	25	62	25	0.214	16,050	2,094,525	7,962,066
	2	-14.4	19	56	19	0.208	11,856	1,547,208	
	3	-9.1	36	61	36	0.152	16,416	2,142,288	
札幌	12	-7.3	36	49	36	0.159	17,172	2,240,946	
	1	-10.9	34	62	34	0.171	17,442	2,276,181	7,182,459
	2	-10.1	26	56	26	0.162	12,636	1,648,998	
	3	-5.9	22	58	22	0.118	7,788	1,016,334	

(2) 薬剤の実用的使用量

前述のように薬剤を完全融雪用に使用することはほとんど不可能であり、一方少量の薬剤散布でも路面の摩擦係数増大には大いに効果があるのでこれらを総合的に考慮して使用することになる。また薬剤の散布形態も溶液として散布する場合と、単体で散布する場合がある。外気温が高く（± 0℃）非常に速効性を要求される場合には溶液で散布する。1号線の逢坂山および鈴鹿峠附近には路側にパイプを設置して塩化物溶液を流下散布する装置がある。また鈴鹿、関ガ原方面では散水車によって溶液散布も行なわれている。しかし一般には単体散布すべきであり、特に夜間などに気温が低下する所では再凍結のおそれがあるので溶液散布すべきでない。塩化物の種類についても使用気温と価格の相関関係である。諸外国では岩塩が安価に入手できるのでほとんど岩塩を使用し、気温低下のはなはだしい場合に塩化カルシウム、塩化マグネシウムを使用している。これら薬剤使用と外的条件の関係は表7-6の通りと考えられる。

諸外国における薬剤散布基準および条件は表7-7¹⁾および表7-8²⁾、表7-9の通りである。わが国においても1回の散布量は30~50g/m²が普通であり、降雪の状況に応じて1回の散布量を多少増減するが、主として散布回数によって散布量および維持の程度を調節している。

(3) 薬剤使用の弊害²⁾

塩化物を使用した場合の弊害には周囲の動植物に対する塩害がある。しかし実際に使用した塩化物は水を融解して順次稀薄液となるのであまり弊害はないようである。また周囲の植物も降雪の期間にはほとんど枯れており、次の播種または植付時期までには、一部地中に滲透した塩分もその後の降雨のために除去されて植物に被害をあたえることはない。

しかし道路線形、側溝などの状況で一個所に多量の融解溶液が流入するような所は十分注意しなければならない。また散布時に道路に沿って葉を持った植物がある場合には注意しなければならない。動物に対する害はほとんどないが皮革などに影響があるので作業衣などに皮革を用いないように注意する必要がある。

金属に対する発錆の問題はある程度やむをえないものとされている。腐食

表7-6 薬剤使用と外的条件の関係

	降 雪 量	
	少 ない ←	→ 多 い
気 温 ↑ 高 ↓ 低	○散布しやすいものでよい。 溶液でもよい。 ○氷点降下が少なくても安価なものがよい。 ○特殊の所では尿素等も使用可能 ○液体薬剤の使用も考えられる。(グリコール) ↓ ○氷点降下の大きいもの $CaCl_2$, $MgCl_2$ がよい。 ○単体散布又は高濃度がよい。	○高濃度溶液または単体散布がよい。 ○氷点降下が少なくても安価なものがよい。 ↓ ○氷点降下の大きいもの $CaCl_2$, $MgCl_2$ ○単体散布がよい。 ○単体と砂の混合散布も考えられる。
	多 い ← 交 通 量 → 少 ない	

表7-7 薬剤散布基準(ドイツ)

薬 剤 種 類	道 路 種 別	散 布 量	摘 要
薬 剤 単 体 散 布 摩 擦 剤 の 散 布	オートバーン 国道及地方道	$10 \sim 40 g/m^2$ $0.2 \sim 0.5 m^3/km$ $0.3 \sim 0.8 m^3/km$	車 線 当 り 路 線 当 り

表7-8 塩類の使用温度(ドイツ)

種 類	最 低 使 用 温 度
岩 塩 ・ 残 滓 塩 塩 化 マ グ ネ シ ウ ム 塩 化 カ ル シ ウ ム	約 - 6℃ 約 - 12℃ 約 - 20℃

表7-9 米国における塩化物散布の標準

道 路 種 別	塩 散 布 標 準	道 路 条 件
地 方 部 道 路	250 ポンド/マイル/1車線 250 " " 400 " " "	30°F の氷 20°F 以上の雪氷 20°F 以下の雪氷
都 市 部 道 路	800 " "	早期散布

防止の添加剤として磷酸塩または高級脂肪族アミンなどの利用が考えられている。これらの効果の一例は表 7-10 の通りである⁹⁾。表 7-10 によってもある程度の効果はあるようであるが完全な効果は期待できない。薬剤散布地区を走った車両は使用後に水洗をすると同時に防食のためにニッケルメッキ、ラック塗などを行なわなければならない。

表 7-10 腐蝕防止剤試験結果(専売公社小田原試験場)

№	融解塩類	使用防蝕剤	防蝕剤の添加量 (P. P. M/塩)	腐蝕量 (mg/dm ² /day)	防蝕率 (%)
1	NaCl (125g/kg)	縮合磷酸塩	0	19.3	19.5
2			1000	15.5	
3			5000	18.6	
4			浸漬 1000	13.7	
5		高級脂肪族アミン	浸漬 1000	21.2	33.3
6	CaCl ₂ (125g/kg)	縮合磷酸塩	0	35.5	
7			1000	14.2	
8			5000	15.2	
9			浸漬 1000	23.1	
10		高級脂肪族アミン	浸漬 1000	23.7	

薬剤使用による舗装表面の破壊については、アスファルト¹⁰⁾、セメントおよび骨材は一般に塩化物に対して化学反応は示さないが、温度変化による物理的な破壊を生ずることがある。一般に大した問題はないが使用薬剤の量が多い所では十分注意しなければならない。

§7.4 耐摩擦材の散布工法

薬剤を使用した場合でもなお費用が多くなるので砂、石炭殻、碎石粉などを散布して摩擦抵抗の増大をはかることがある。この場合単に耐摩擦材のみを散布すると氷との附着が悪くあまり効果のない場合もあり、また耐摩擦材の貯蔵や散布のためにも適当量の塩化物を混合した方がよい。一般に耐摩擦材 1 m³ に対し塩化物 20~50 kg 程度を混入する。表 7-11 はドイツの基準

表 7-11 塩類と摩擦剤の混合基準(ドイツ)

種 類	塩 類 の 混 合 比
残滓塩、カーナリット	30~80 kg/m ³
塩化マグネシウム	20~50 kg/m ³
塩化カルシウム	20~50 kg/m ³

表 7-12 氷結路面に散布する材料の使用量基準の例

著 者	塩類の量(%)	摩擦材の散布量	備 考
ヴェ・イ・ズベリン	22	0.18~0.25kg/m ²	街路および広場に密に散布する場合
"	"	0.35~0.40 "	運行に危険な場所
デオエル・エヌイイ	2.0~3.0	0.25	郊外道路
Bucekなど(チェコスロバキヤ)	5.0	0.2~0.3	機械散布
Praice EA(米)	3~5	0.26~0.3	"
Koninskiw(ポーランド)	1.0~1.6	0.2~0.4m ³ /1000m ²	特に危険な場所
Bjorkman A(スウェーデン)	4.5	0.335 "	機械散布
エヌ・イ・マトベエフ(ソ連)	4.0~5.0	0.2~0.5 "	モスクワ

である。¹⁾また図 7-12~図 7-13 は北海道土木試験所の実験結果である¹¹⁾が塩化物の混合は 20~50 Kg/m³ で十分であることを示している。

道路面に対する耐摩擦材の散布量は 0.2~0.5 Kg/m² 程度であって、これ以上沢山散布しても大して効果は増大しない。これらの状況は図 7-12~図 7-13 においても明らかである。ドイツの基準は表 7-7 の通りであり、その他の国々のものは表 7-12 の通りである。さらにこれらの効果を北海道土木試験所が実際の道路上で測定したものが図 7-14~図 7-15¹¹⁾である。図によると耐摩擦材のみの効果はいかなる場合においても安全走行をするために十分大きくはないことがわかる。図 7-15 において散布量の多い場合かなり大きい摩擦係数(スノータイヤで 0.4) がえられているのはさきに述べた薬剤の効果によるものと考えられる。

また耐摩擦材は散布当初は有効に働らくが、次第に粒子が氷層の中に沈下し、また次にわずかの降雪があった場合にも完全に積雪の中に埋ってしまうので効果の永続性は期待できない。また春先の融雪期には融けにくい氷塊を形成しやすく、さらに融解後は側溝などに流入するのでこれを除去しなければ

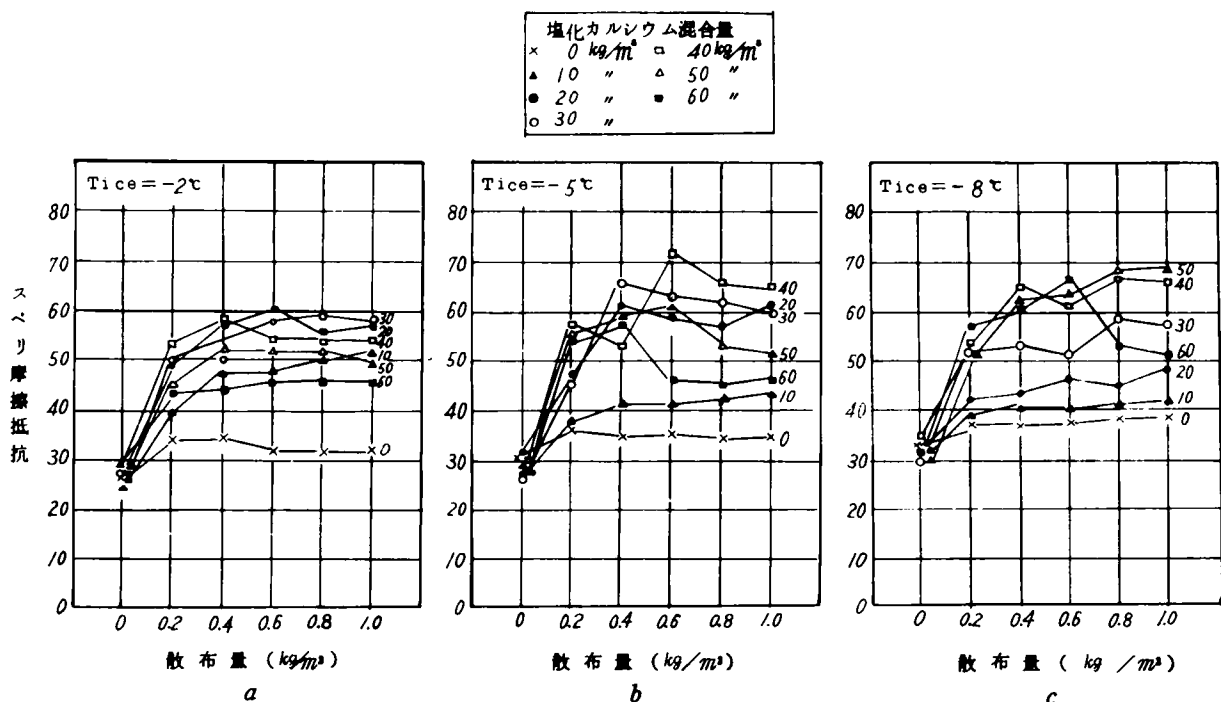


図7-12 Portable Skid Resistance Testerによる測定結果

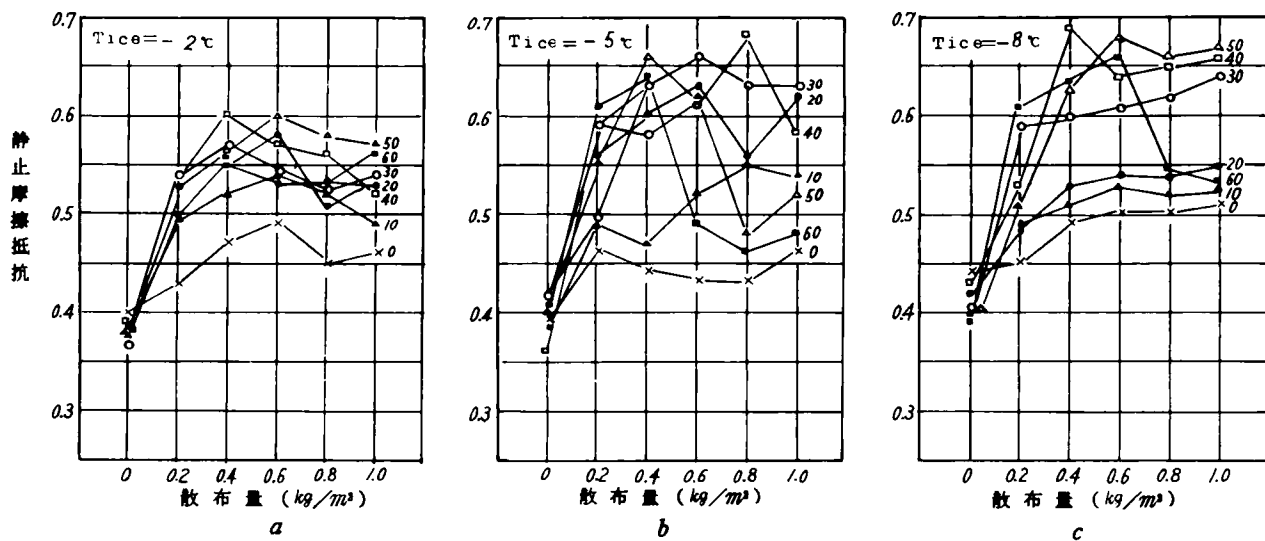


図7-13 静止摩擦抵抗測定器による測定結果

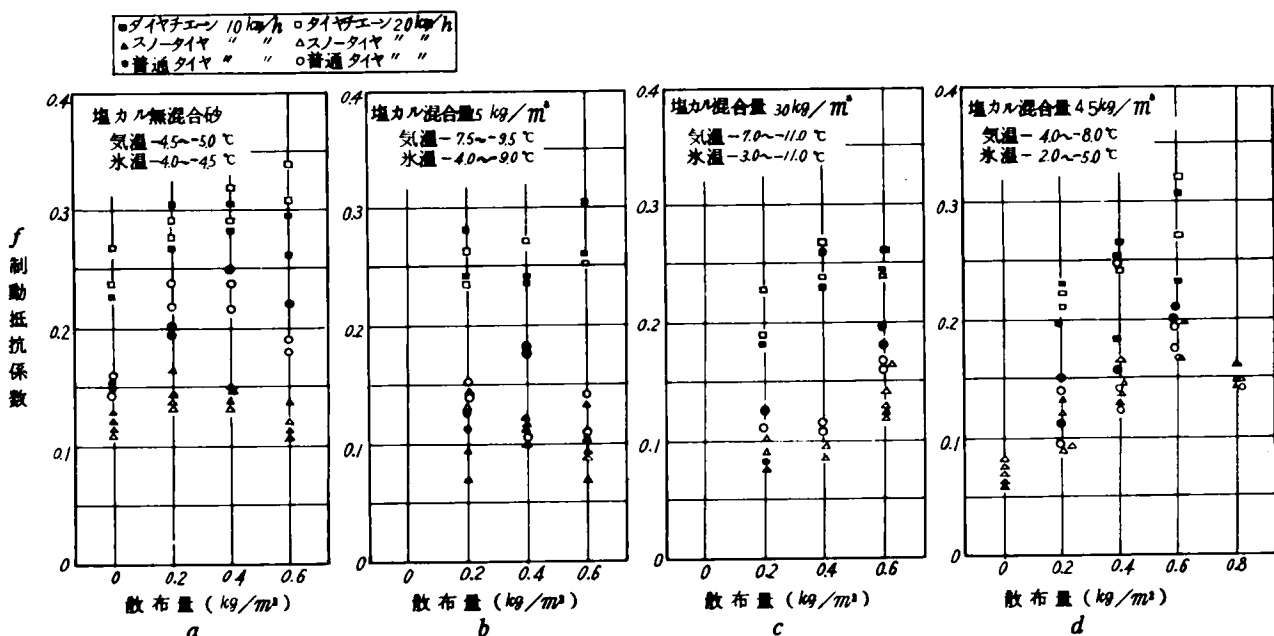


図 7-14 氷結路面における塩化カルシウム混合砂の散布量と制動抵抗係数の関係

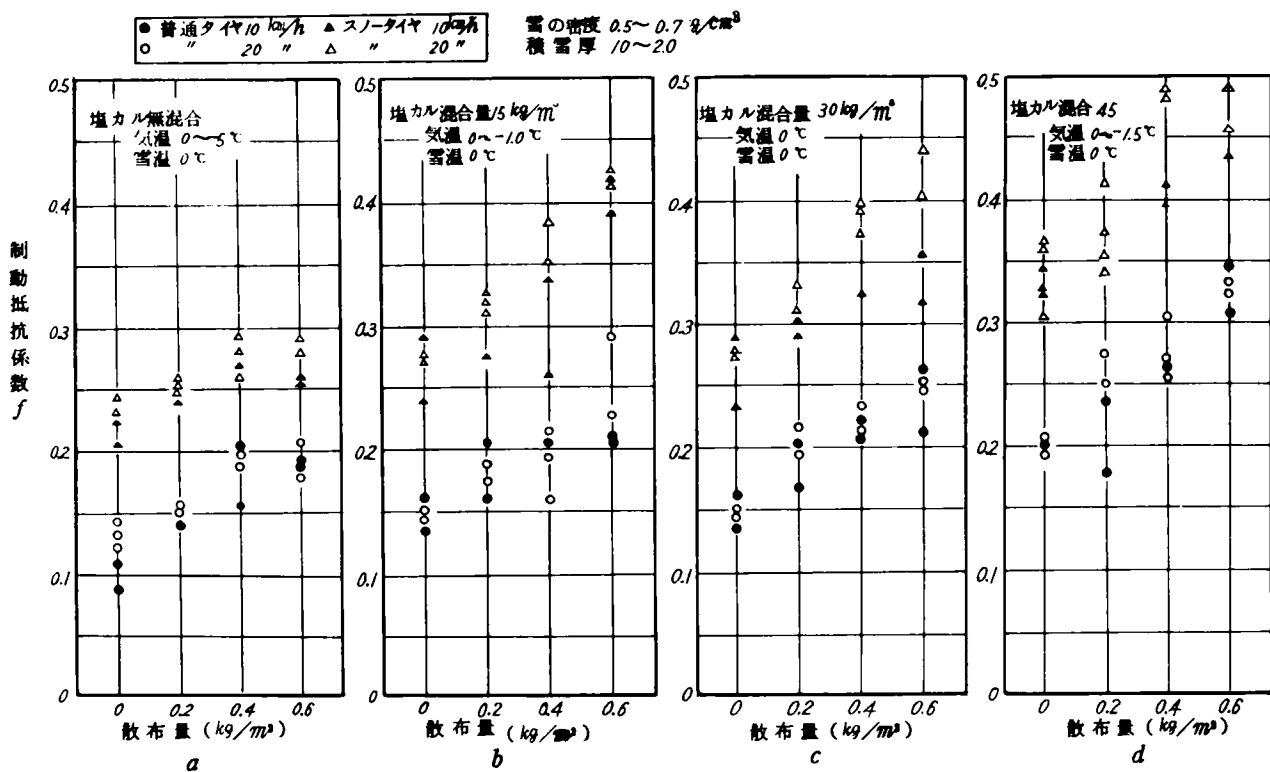


図 7-15 積雪路面における塩化カルシウム混合砂の散布量と制動抵抗係数の関係

ばならない。散布時にも塩化物のみの場合に比べて大量の材料を必要とするので1台のトラックでの散布延長が短くなり何かと不経済な点が多い。したがって一部の地方部道路で路側に堆積しておいて自由に使用するなどの外はほとんど使用されなくなってきている。

§7.5 電熱による凍結、積雪対策

〔1〕 電熱の利用について

(1) 電熱利用の方法

路面凍結対策としては主として薬剤の使用が考えられるが、特に重要な道路（高速自動車道、市街地幹線道路）とか、構造上走行に危険な所（勾配、曲線がきつく、特にその組合わされた所）および地形その他の影響で局部的に積雪または凍結する区間（峠部分、橋梁上、トンネル入口）などに対してより高度の確実な方法として電熱の利用が考えられる。

電熱利用の方法としては、舗装面下に電熱線を布設して通電加熱するものが最も¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾普通であり、その外に赤外線投光器によって路面上から¹⁶⁾照射する方法もある。また今後の開発として超音波の利用による雪氷の剝離、安価な原子力温水の利用、舗装体の特殊加工（導電性をもった舗装体を作るなど）も考えられる。

(2) 電熱計算の基本

融雪を目的として電熱を利用した場合の熱式は次のようになる。

$$q_o = q_s + q_m + A_r(q_e + q_f) + (1 - A_r)q_c + q_g \dots\dots\dots (7-1)$$

ここで q_o : 加えた全熱量

q_s : 電熱線付近の舗装体および雪の温度を上昇させるために費されたエネルギー

q_m : 雪を融解するのに使った熱量 80 cal/g

A_r : 路面の露出率 = (雪のない面積 / 全面積)

q_e : 舗装面からの蒸発熱量

q_f : 舗装面からの乱流および放射熱量

q_c : 雪面からの蒸発、乱流および放射熱量

q_g : その他の熱損失

算定式

ここで路面よりの熱放出に関する~~全式~~は、なかなか決定的なものはえられないが、一般に次式があたえられている。

$$q_f = a C_p \cdot U (T_R - T) \dots\dots\dots (7-2)$$

$$q_e = b U (l_R - l) \dots\dots\dots (7-3)$$

ここで a, b : 係数

C_p : 空気の定圧比熱

U : 風速

T_R : 路面温度

T : 気温

l_R : 路面温度に対する飽和蒸気圧

l : 空気の蒸気圧

さらに雪面よりの蒸発熱量を q_{ec} とすると

$$q_{ec} = C (l_R - l) \frac{B_o}{B} \cdot \frac{T}{T_o} \sqrt{U} \dots\dots\dots (7-4)$$

ここで C : 係数

B_o : 標準気圧

B : 気圧

T_o : 絶対温度 273

実際に路面に一樣に積雪がある場合 $A_r \div 0$ であり、 q_c はかなり小さい値であるので

$$q_o \div q_s + q_m + q_g \dots\dots\dots (7-5)$$

と考えても大差はない。

〔 2 〕 電熱線による加熱

(1) 電熱線による加熱の一般的工法

電熱線を舗装体中に埋設して通電し、発熱して融雪させるもので、電熱線の種類および外気温、積雪量の多少によって工法は異なる。現在使用されている電熱線は次の三種類に大別される。(a)発熱導線をゴム質のもので絶縁被覆したもので図 7-16(a)の如き構造のもの。1 m^2 当り使用電力は 200 $w \sim$

300w 程度としている。(b)発熱導線を絶縁し金属パイプで被覆したものである。図7-16(b)参照。チューブの太さおよび発熱量は前者とほとんど同じであるが、金属被覆のために強度と、コンクリートに対する付着性がよい。しかし瀝青舗装の場合問題があるように思われる。(c)金属パイプを発熱導線として使用するもので図7-16(c)の如き構造のものである。熱伝導性は非常によいが、まだ試験的段階である。

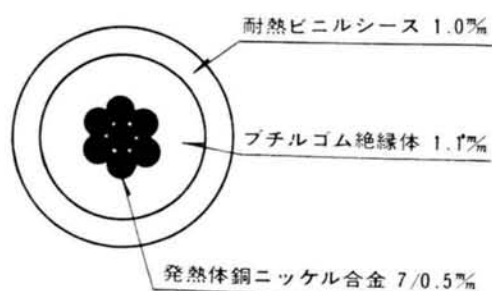


図7-16(a) ゴム被覆電熱線

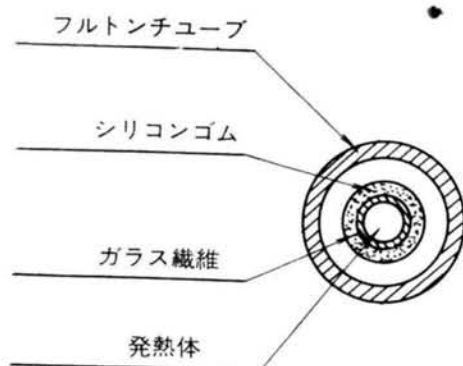


図7-16(b) パイプ被覆電熱線

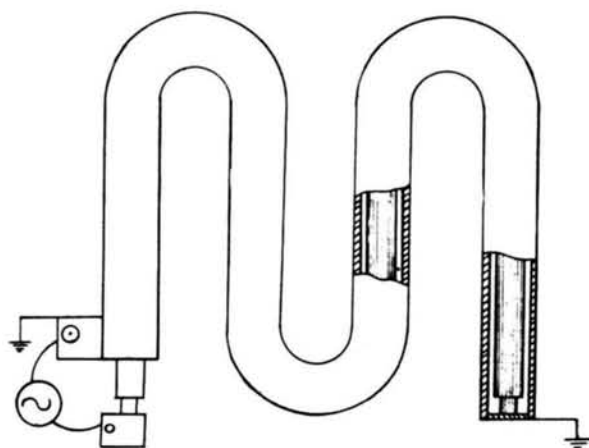


図7-16(c) 発熱パイプ

これらの電熱線を舗装体中に深さ5～10cmの所に7～10cm間隔で埋設する。埋設深さは浅いほど熱効率がよいのであるが、舗装体の施工性および摩耗耐久性を考慮すると少くも8cm程度が望ましいようである。埋設する場合の電熱線の間隔は加熱表面の温度分布に関係するので、普通埋設深さの

1.5～2.0倍程度が望ましいとされている。電熱線の布設はあらかじめ網状（または簾状）に組んだものを布設する場合と、現地で治具を使用して蛇行配列を行なう方法と2通りがある。これらの状況を図7-17 a・bに示す。



a. 治具による現場ユニット布設



b. 施工の早い簾状ユニット

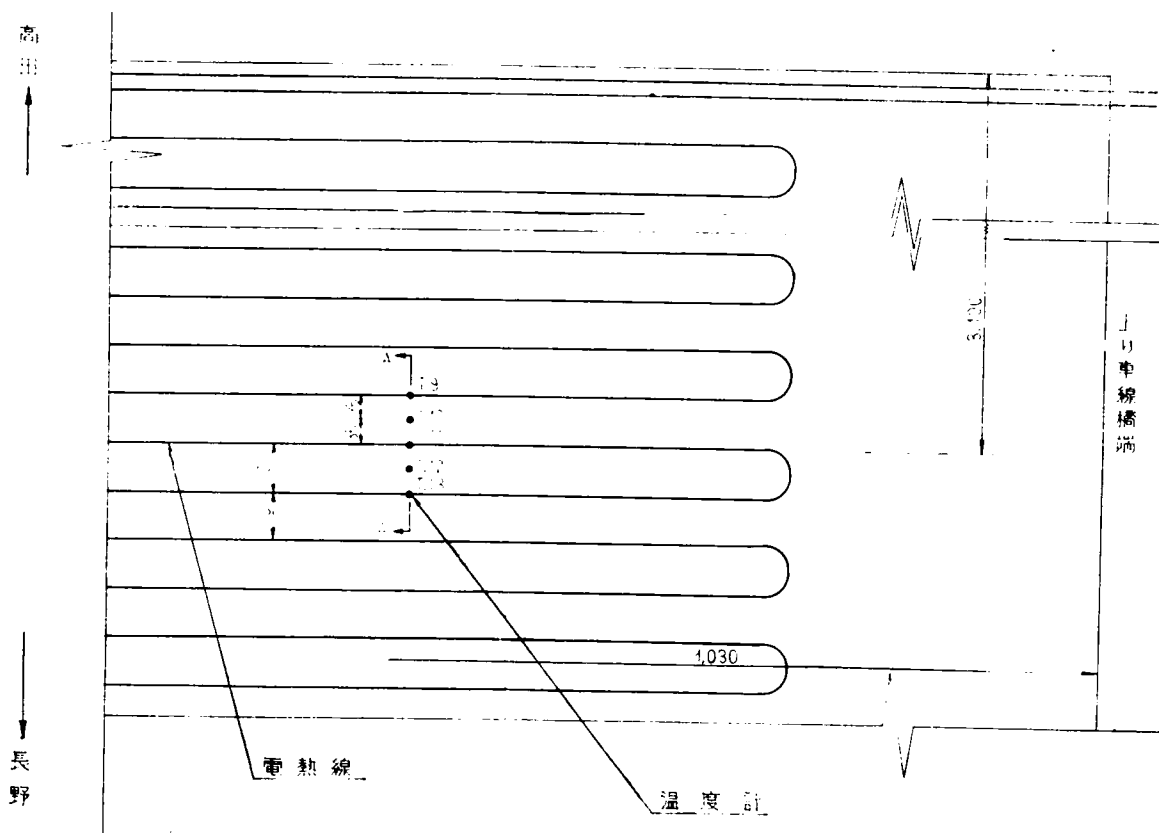
図7-17 電熱ケーブルの布設法

(2) 電熱線による加熱の効率

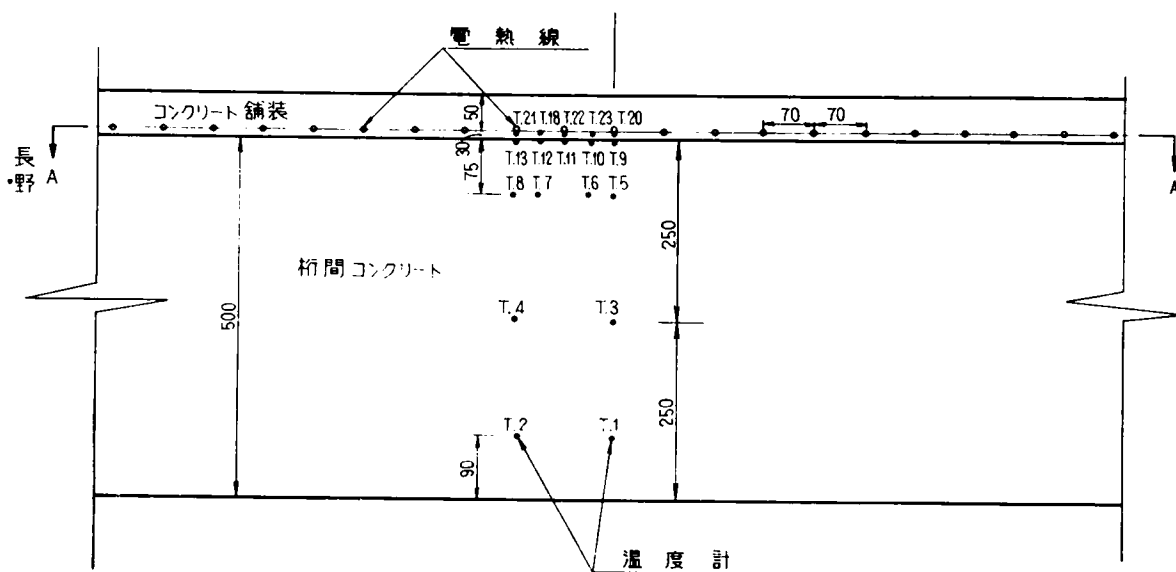
電熱線によって加熱した場合の効率について、本研究の一部として実験したのでその結果について述べる。本実験は国道18号線野尻^町付近で行なったものであり、図7-18のように配線した。実験は橋梁部についてはP.S.コンクリート桁の中詰め中に温度測定用熱電対を埋設し、ならしコンクリートと舗装コンクリートの間に電熱線および計器端子を埋設した。またこの橋梁に接続する道路部分にアスファルト舗装を行ないその中に電熱線を埋設して実験を行なった。

(a) アスファルト舗装部の連続通電観測

アスファルト舗装路面に電熱線を埋設し、実際に融冰雪に連続して使った場合の効率がどの程度になるかを知るために行なったものである。観測期間は昭和39年1月26日より3月2日までの間行なった。電力スイッチの操作は人力により行ない、降雪があって当該舗装面に積雪かまたは残留水分が凍結するおそれのある場合にスイッチを入れ、ほど融雪が終ったと思われる時にスイッチを切ることにした。夜間12時から翌朝7時までは積雪があってもスイッチは入れないことにした。操作および観測は職員が交替で常に一人駐在して行なった。したがって個人差もあり、また初めての経験なので、



a 橋梁部平面図



b 橋梁部断面図

図7-18(2) 温度計埋込位置図

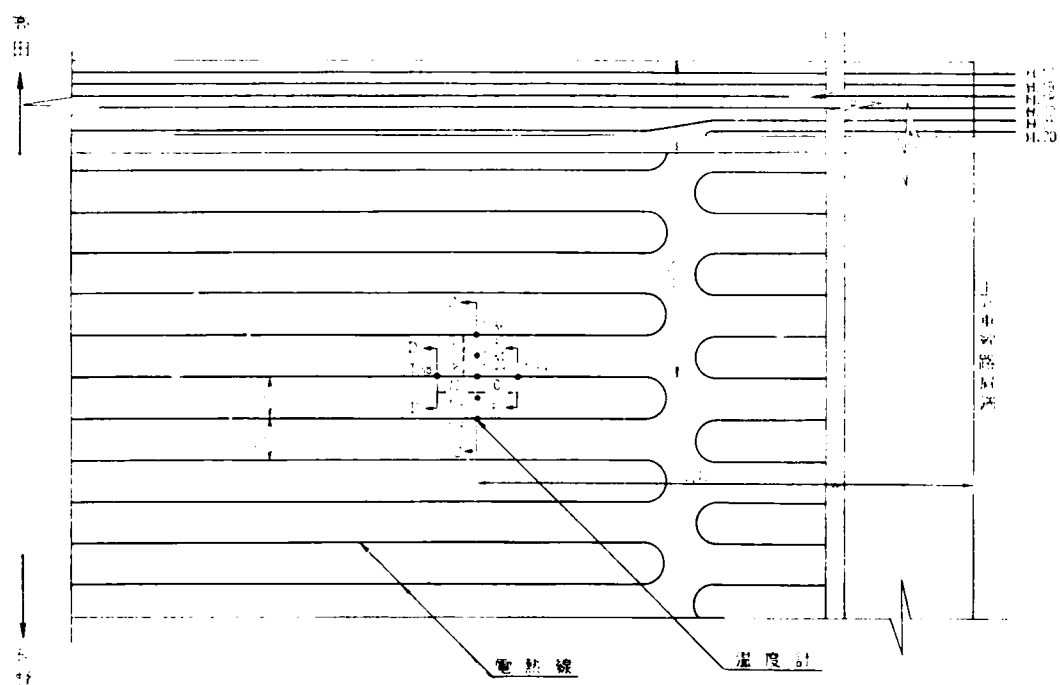


図 7-18(2) 温度計埋込位置図 c 道路部平面図

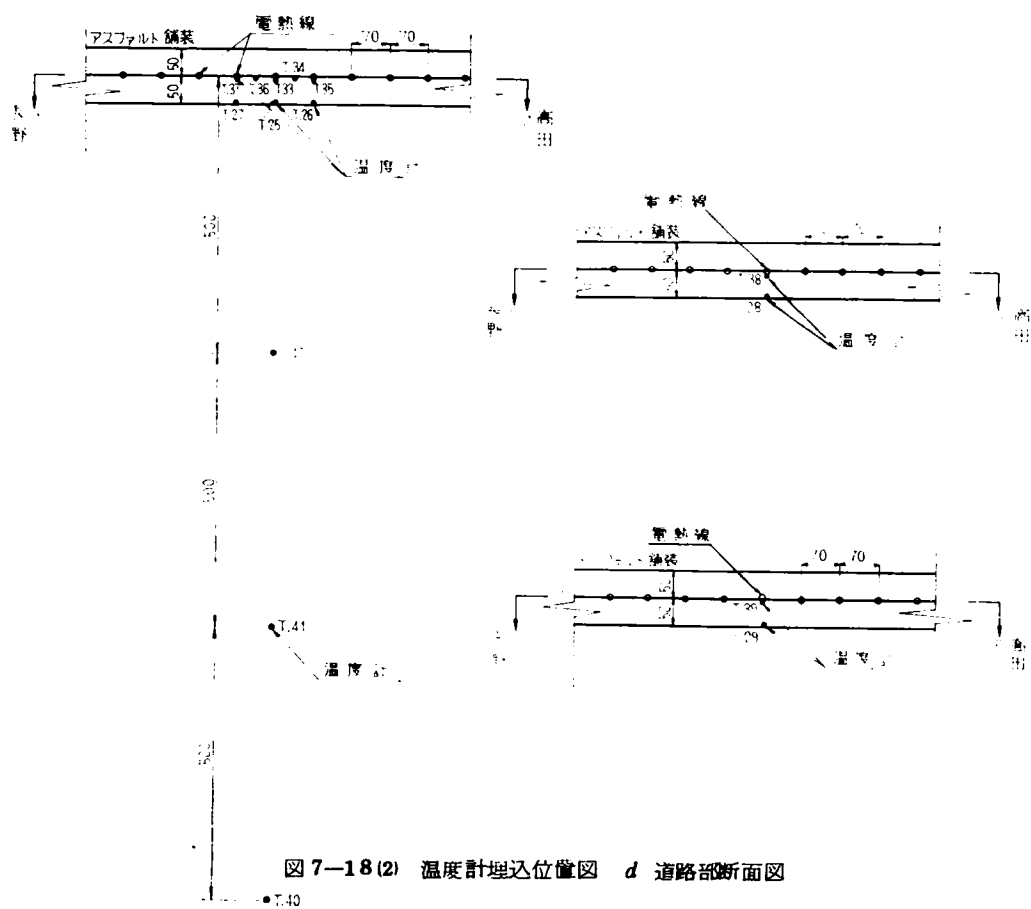


図 7-18(2) 温度計埋込位置図 d 道路部断面図

不経済な電力使用もあったと思われるが、実用化した場合の標準となると考えられる。

観測は通電中は1時間に1回（一部30分に1回）行ない、通電終了後もしばらくは観測した。その記録を1日単位にまとめたのが表7-13である。表7-13で除外電力とはアスファルト舗装面加熱以外の実験に使用した電力である。すなわちコンクリート舗装面の加熱、赤外線照射および各種計測器、照明電力などである。氷当量は積雪の密度を1月は0.073、2月は0.074、3月は0.05として計算したものである。効率は全電気量を熱カロリーに換算して氷当量に対する融解熱量との比をとった。実施した舗装面積は 40 m^2 である。表7-13によると全期間を通じての効率が48%であり、初めての實用実験としては非常によい。これはもちろん地域差による気象条件の相違によって異なってくるであろうが、外気温が $+5^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$ 程度の気温の地方では大体適用されると思う。なおこれを各日の効率についてみると10%~70%の広い範囲にわたっている。この変動の原因としては操作した人の個人差による相違とか、外気温の差などいろいろ考えられるが、最も大きい原因は1回の降雪量である。図7-19はおのおのの日の降雪量と効率の関係を示す。この図によると、1回の降雪量が少ない間は効率が悪く、一定量（水換算1cm）以上になると効率もよくほぼ70%となっている。これは当然考えられることで降雪量が少ない場合は熱カロリーの損失比率が多くなり、また発熱の大部分が舗装体の温度上昇に消費されるからである。しかし100%近い効率はすこし良すぎるようである。ここで問題は太陽の輻射熱である。実際には（電力加熱+太陽の輻射熱）となって、上記のごとき高い効率が得られているのである。

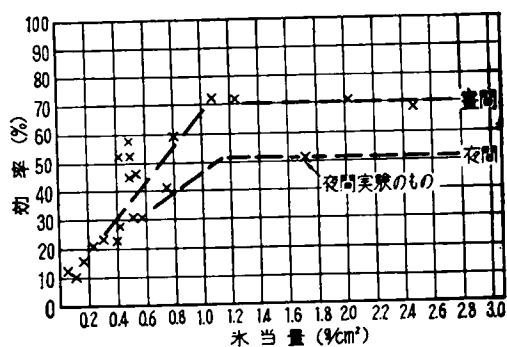


図7-19 1回降雪量と効率の関係

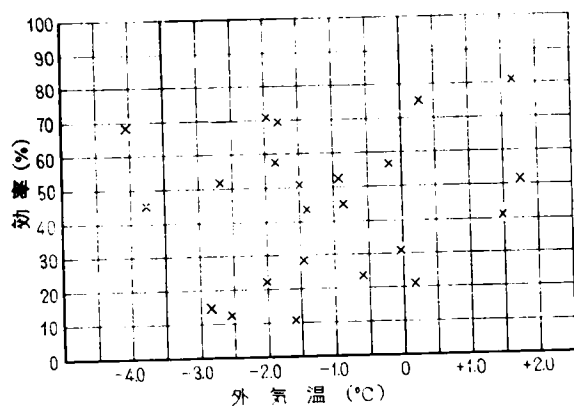


図7-20 外気温と効率の関係

表7-13 記録総括 昭和39年1月26日~3月2日

月 日	時 刻	積雪量	天候	スイッチ	積 算 計 電 力	電力	除 外 電 力	実使用 電 力	氷当量	効 率
1.26	11.17	10.0	くもり	ON	21.0	73.2	赤外線 1kW×6時間×1個=6kW 測定用計器 0.1kW×6時間=0.6kW	66.6	0.730	40.9
27	17.28		雪	OFF	94.2					
	11.20		晴	OFF	275.5	63.2	赤外線 1×1×5.5 測定 0.1×5.5	56.7	1.241	81.0
29	11.15	17.0	晴	ON	771.4					
	16.45		"	OFF	834.6	44.7	赤外線 1×1×4 測定 0.1×4	40.2	0.219	20.1
31	8.15	3.0	晴	ON	1,000.8					
	12.15		"	OFF	1,045.5	111.0		111.0	2.183	70.8
2. 2	9.15	6.0	雪	ON	1,148.4					
	22.15	29.5	"	OFF	1,259.4	43.5		43.5	0.621	52.7
3	8.45	37.5	雪	ON	1,369.6					
	12.45	38.0	"	OFF	1,413.1	55.0		55.0	1.073	71.5
4	8.45	13.0	小雪	ON	1,413.1					
	12.45	14.5	"	OFF	1,468.1	53.3		53.3	0.407	28.2
5	8.45	4.5	小雪	ON	1,468.1					
	13.45	5.5	"	OFF	1,521.4	21.4		21.4	0.074	12.7
6	8.45	1.0	晴	ON	1,521.4					
	10.45		"	OFF	1,542.8	36.8		36.8	0.518	52.0
7	8.30	7.0	小雪	ON	1,542.8					
	12.00		"	OFF	1,579.6	54.8		54.8	0.592	40.2
10	8.30	8.0	くもり	ON	1,579.6					
	13.30		"	OFF	1,634.4	131.0		131.0	2.479	68.9
12	8.00	10.0	雪	ON	1,634.4					
	10.00	12.5	"	OFF	1,654.1	51.8		51.8	0.814	57.9
	10.00	3.0	"	OFF	1,654.1					
	21.00	21.0	"	OFF	1,765.4	46.5		46.5	0.296	23.5
13	8.00	21.0	晴	ON	1,765.4					
	13.00	32.0	"	OFF	1,817.2	31.1		31.1	0.370	44.3
14	7.30	20.0	小雪	ON	1,817.2					
	12.00	24.0	晴	OFF	1,863.7	40.5		40.5	0.500	45.4
	21.00	4.0	雪	ON	1,863.7					
	24.00	1.0	"	OFF	1,894.8	32.2		32.2	0.500	57.2
15	8.00		晴	ON	1,894.8					
	12.00		"	OFF	1,935.3	62.3		62.3	0.518	30.6
16	8.00		晴	ON	1,935.3					
	11.00		"	OFF	1,967.5	60.9		60.9	0.370	22.5
17	8.00	17.0	雪	ON	1,967.8					
	14.00	24.0	"	OFF	2,030.1	0		0	0.074	余熱による融雪
18	8.00	5.0	雪	ON	2,030.1					
	14.00		くもり	OFF	2,091.0	35.5		35.5	0.148	15.4
19	9.00	1.0	晴	OFF	2,091.0					
	12.00		"	OFF	2,091.0	226.2	赤外線 5kW×2.0kW コントローラー 0.1kW×2.7	123.5	1.702	51.0
20	17.15	2.0	小雪	ON	2,091.0					
	20.40		"	OFF	2,126.5	41.7		41.7	0.518	46.1
24	10.00		小雪	ON	2,652.3					
25	9.00	23.0	雪	OFF	2,878.5	35.2		35.2	0.100	10.2
28	17.35	6.0	雪	ON	3,408.0					
	21.35	7.0	晴	OFF	3,449.7					
3. 2	7.35	2.0	くもり	ON	3,544.8	35.2		35.2	0.100	10.2
	10.35		"	OFF	3,580.0					
1月26日～3月2日 合 計								1223.4	16.047	48

ただし、 効率の計算 = $\frac{396,500 \times 16.047 \times 80}{1,223.4 \times 860,000} \times 100 \div 48\%$

ただし、除外電力は赤外線照射実験、各種計測器、照明等に使用した電力を除外した。

氷当量は積雪量に対して比重を1月0.073、2月0.074、3月0.05として計算したものである。

効率は全電気量を熱カロリーに換算して氷当量に対する融解熱との比をとった。

次に外気温と熱効率の関係であるが、これは図7-20の通りである。

図7-20によると外気温と効率はあまり関係ないと考えられる。外気温と効率は関係があると考えられ、事実いくぶんかは影響があるのであるが、実際に熱伝導によって融冰雪が行なわれるのは舗装に接した雪氷の最下部であって、融雪氷が完了して始めて外気に接するのである。したがって融雪氷中はあまり外気温には影響されない。また空気の熱伝導率の小さいこともこの原因の一つである。

本地区は交通量は少なく、1時間20台前後であって通過交通によって雪が混合され、または側方へ除去される作用はほとんどないが、交通量の多い地区ではみぞれ状の雪が路側に飛ばされるので、もう少し効率はよくなるものと考えられる。

表7-14 アスファルト舗装路面温度計測値(昭和39年1月29日)

電力消費量		5.8 5.8 5.7 5.6 5.8 5.7 5.8 5.6 5.8 5.7 5.9												
時 刻	外 気 温	11° 30'	11° 05' 2.8	11° 43' 2.6	12° 15' 1.7	12° 45' 2.2	13° 15' 2.7	13° 45' 2.2	14° 15' 2.1	14° 45' 1.1	15° 15' 0.8	15° 45' 0.7	16° 15' 0.6	16° 45' 0.5
表 面 温 度 計					0.1	(2.5)	0.1	0.5	(4.5)	0.7	1.7	2.4	3.4	5.5
表 面 2			18.1	7.7	5.95	6.2	5.0	5.0	5.0	1.24	1.0	1.75	0	0
表 面 1			5.45	6.7	6.45	8.94	6.7	5.0	5.5	4.7	4.0	4.7	—	6.2
33		0.75	0.75	4.0	4.96	5.45	3.2	6.2	6.45	6.4	6.4	6.4	7.4	7.5
35		0.75	0.75	3.2	6.7	7.45	7.45	8.45	8.70	8.4	8.4	8.7	9.0	9.9
37		0.5	0.5	2.2	5.95	6.2	6.45	6.7	7.5	7.2	7.4	7.4	7.4	8.4
38		0.3	0.3	5.2	6.45	7.2	7.45	7.5	7.9	7.9	8.2	8.2	8.7	8.9
39		0.3	0.3	6.2	7.45	8.2	8.4	8.42	9.4	9.2	9.4	9.9	9.9	10.9
34		0.75	0.75	2.7	4.0	4.46	4.7	5.20	5.70	5.7	6.0	6.0	6.4	7.2
36		0.75	0.75	2.2	3.22	3.72	3.72	3.97	4.7	4.7	4.7	5.0	5.0	5.7
25		0.5	0.3	4.0	4.23	4.48	4.68	4.45	4.7	4.5	4.7	4.9	4.9	5.2
26		0.3	0.3	1.24	2.2	2.73	3.2	3.72	3.96	4.2	4.2	4.5	5.0	5.0
27		0.5	0.5	1.0	1.98	2.48	2.98	3.48	4.7	4.0	4.0	4.2	4.7	5.0
28		0.75	0.5	1.24	2.2	2.48	2.98	3.48	3.96	4.0	4.0	4.2	4.7	5.0
29		0.75	0.75	1.24	2.48	2.73	3.2	3.72	4.20	4.2	4.7	4.7	5.0	5.2
39—29		2.5	—	4.96	4.97	5.47	5.2	4.7	5.2	5.0	4.7	5.2	4.9	5.7
42		2.5	2.5	2.2	2.48	2.48	1.98	2.2	2.48	2.54	2.54	2.0	2.54	2.48
41		4.22	4.0	3.7	3.7	3.48	3.48	3.48	3.7	3.7	3.5	3.5	3.5	3.7
40		5.96	5.2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.70	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
積算電力計使用電力														
摘 要		11°15' 通電開始				13°15' 車輛通行 12°45' 部分ほぼ 表面はくり 融解				14°45' 全体融解				

表 7-15 アスファルト舗装路面温度計測値(39 年 1 月 31 日)

電力消費量			5.4	5.5	5.6	5.5	5.8	1.8	9.4	5.7	平均 5.6
時 外	気 刻	温	8°10' 0.6	8°45' 0.4	9°15' 0.4	9°45' 0.4	10°15' 0	10°45' 0.1	11°15' -0.1	11°45' -0.2	12°15' -0.2
表面温度計			積雪 3cm 0	0.1	0.8	1.9	2.0	3.9	6.4	5.7	5.2 <small>3cm 比前 0.07-5</small>
表 — 2			0	0	0	0	-0.9	-4.35	-0.9	1.45	-0.9
表 — 1			0.29	0.29	0.58	0.9	0.9	3.2	5.5	5.8	6.1
33			1.16	4.29	5.8	3.8	7.3	8.7	10.2	10.2	11.0
35			1.16	6.75	7.7	8.7	9.3	11.0	12.5	12.8	13.0
37			1.16	5.8	6.75	7.3	7.5	9.3	13.9	11.3	11.5
38			1.16	6.1	7.55	8.7	9.3	10.5	11.5	12.5	12.5
39			1.16	7.55	8.7	9.9	10.1	11.5	13.0	13.0	13.6
34			1.16	3.48	4.6	5.5	6.1	7.5	8.7	9.3	9.9
36			1.16	2.61	3.8	4.35	4.95	6.4	7.8	8.4	11.5
39-36				4.94	4.9	5.55	5.15	5.1	5.2	4.6	2.1
25			1.74	2.32	3.20	4.1	4.35	5.2	6.1	6.4	6.95
26			1.74	2.32	3.20	4.1	4.35	5.2	6.1	6.4	7.3
27			1.74	2.32	2.90	4.1	4.1	4.95	5.8	6.1	6.75
28			1.74	2.32	3.20	4.1	4.1	4.95	5.8	5.8	6.75
29			1.74	2.32	3.20	4.1	4.35	5.2	6.1	6.1	7.3
39-29				5.23	5.5	5.8	5.75	6.3	6.9	6.9	6.3
42			3.48	3.20	3.20	3.48	3.48	3.48	3.48	3.20	3.48
41			4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
40			4.35	4.92	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
積算電力計 使用電力											
摘 要			8時15分 通電開始								

(b) アスファルト舗装部の熱効率

アスファルト舗装体の通電時の温度変化を測定したので、これによって熱伝導および効率を調べると表 7-14、表 7-15 の如くである。まず 1 月 29 日の観測値は表 7-14 の通りである。表面 1、表面 2 は舗装表面に埋設した熱電対による表面温度であり、表面 1 は加熱区間のもので、表面 2 は隣接した非加熱区間のものである。1 月 29 日にトーチランプで舗装体を加熱して埋設したので、当日の計測値はその余熱の影響があって使えないが、それ以後(31 日)のものについては有効である。33, 35, 37, 38, 39 はケーブル埋設地点の温度であり、ケーブルは発熱体なので最も高温のもの 39 を計算に採用する。他のものは熱電対がすこしケーブルから離れたと解釈した。

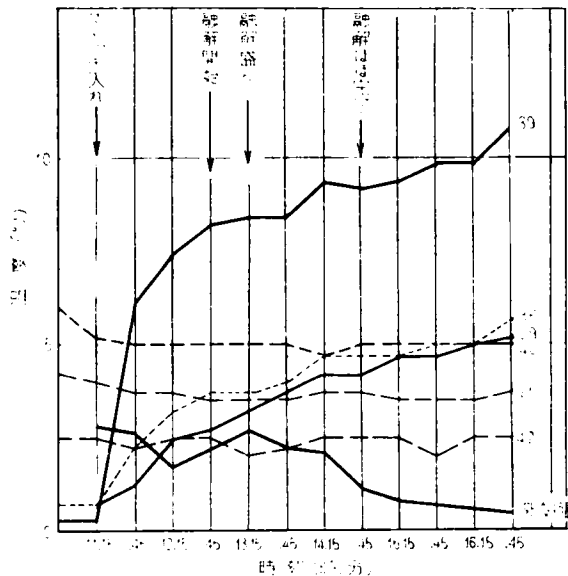


図7-21 加熱時温度変化曲線(アスファルト舗装1月29日)

34, 36 はケーブルとケーブルの中間点であるが、温度の低い方が正確な中間点に近いと考えて36をとる。25, 26, 27, 28, 29はケーブルより5cm下の位置であり、どれもほとんど同じ温度なので29を代表的にとって考える。これらによって温度変化を表わすと図7-21のようになる。

(イ)発熱カロリー、この実験に使用した電熱ケーブルは82mが1単位で 8.2Ω であり、100Vの電流の場合1.2kW

の電力を発生する。このケーブルを7cm間隔に布設したので、1 cm^2 当り1時間の発熱量は

$$\begin{aligned} & \frac{110V \times 110V}{8.2\Omega} \times \frac{1}{8200\text{cm}} \times \frac{1}{7\text{cm}} \times 860\text{cal} \\ &= 22.1\text{cal}/\text{cm}^2/\text{hr} \\ &= 0.00614\text{cal}/\text{cm}^2/\text{sec} \end{aligned}$$

ここで29日の電圧測定値は110Vであったので、1時間当り電力量を $(110V \times 110V) / 8.2\Omega$ とした。図7-21において融解に要した時間は3.5時間であるから、その間の全発熱量は

$$\begin{aligned} \text{全発熱量} &= 22.1 \times 3.5 = 77.35\text{cal}/\text{cm}^2 \\ &\text{となる。} \end{aligned}$$

(ロ)融解カロリー、この実験で融解した雪の全融解熱は次の通りである。

$$\text{全融解熱量} = 17\text{cm} \times 0.09 \times 80\text{cal} = 122.4\text{cal}/\text{cm}^2$$

(イ)と(ロ)を比較して融解カロリーの方が発熱カロリーより大きいのはおかしい。

これは図7-21からもわかるように、外気温が $+2^\circ\text{C}$ であるために、空気

によって加熱されたこと、および太陽の輻射熱によって相当融解されたと思われる。

④発熱カロリーの流れ、 ケーブルで発生した熱量のうち、どの程度が融解熱となったかを概略的にみると次のようである。表 7-14 において、39, 29 は融雪中はほぼ同じ値 5°C 前後である。また 39 と道路表面の温度差はほぼ一定値 8°C と考えてもよいであろう。39, 36 もほぼ一定値 4.5°C である。これらを見ると、融雪中は熱流動がほぼ定常状態にあると考えてよい。したがって、熱カロリーの流出量は温度勾配に比例するから、全発生カロリーのうち $8 / (5 + 8) = 61.5\%$ が表面に向って流れるカロリーとなり、 $5 / (5 + 8) = 38.5\%$ は下方に向って流れることになる。したがって 1 時間当り上方へ流れるカロリーは $22.1 \text{ cal} / \text{h} / \text{cm}^2 \times 0.615 = 13.59 \text{ cal} / \text{h} / \text{cm}^2$ であり、同じく 1 時間当り下方に向って流れるカロリーは $22.1 \text{ cal} \times 0.385 = 8.51 \text{ cal} / \text{h} / \text{cm}^2$ となる。

(二)初期加熱現象

ケーブルで加熱を開始したばかりの状態では、当然ケーブルを中心に等方的に熱伝導が行なわれる。そして、この熱が約 5 cm の舗装面に達して、しばらくすると前述の如き定常流になると考えられるので、この間の時間を計算してみる。これら計算の前提となる舗装体の比熱および熱伝導係数を表 7-16 のとおりとする。

表 7-16 舗 装 体 の 熱 係 数

	密 度	熱 伝 導 係 数	比 熱
アスファルトコンクリート	2.2	$0.00135 \text{ cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{deg}$	0.22
コンクリート	2.4	$0.0056 \text{ cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{deg}$	0.25
路 盤	1.9	$0.003 \text{ cal} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{deg}$	0.20

これらの計算および表 7-14、図 7-21 を総合すると、約 0.8 時間程度は熱は上下方向に等しく流れ、その後は上方へ $61.5 / 100$ だけ流れるとすると、上方に流れた総熱量 H_o は

$$\begin{aligned}
 H_o &= Q \times \frac{1}{2} \times 0.8 \times 3600 + Q \times \frac{8}{13} \times 2.7 \times 3600 \\
 &= 310 \text{ cal} / 7 \text{ cm} = 44.3 \text{ cal} / \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

上方に流れた熱量のうち、アスファルトが吸収したものを表 7-14 より推算すると

$$H_{oa} = \left\{ \frac{0.7^\circ + 4.7^\circ}{2} \times 5^{cm} \times 7^{cm} + (9.4^\circ - 4.7^\circ) \times 5^{cm} \times 7^{cm} \times \frac{1}{3} \right\} \times 0.22 \times 2.2$$

$$= 72.4 \text{ cal}$$

また、さきに計算した $H_{t=1} = 143 \text{ cal}$ であるから、上方に対しては

$$H_{oa} = \frac{H}{2} = 71.5 \text{ cal}$$

となる。したがって、今回の計算には 72 cal とすると、雪の中へ流出した熱量は

$$310 - 72 = 238 \text{ cal} / 7 \text{ cm}, \quad = 34 \text{ cal} / \text{cm}^2$$

となる。したがって、理論的な融解作用のための効率

$$\rho = \frac{238}{0.043 \times 35 \times 60 \times 60} = 0.439 \div 44\%$$

である。しかし 29 日の雪の量から計算した全融解熱量は $1224 \text{ cal} / \text{cm}^2$ であり、電力よりの供給熱量は $34 \text{ cal} / \text{cm}^2$ であるので、見かけ上の効率は $1224 / 34 = 358\%$ であり、 $1224 - 34 = 884 \text{ cal} / \text{cm}^2$ はその他の熱量、すなわち主として、輻射熱によって融解したものと考えられる。また、見かけ上の総発熱量に対する融解効率は $1224 / (22.1 \times 35) \div 158\%$ となる。このときの太陽輻射熱は測定していないが、文献によると輻射熱量は $20 \sim 30 \text{ cal} / \text{cm}^2 / \text{h}$ で、最大は $60 \text{ cal} / \text{cm}^2 / \text{h}$ となっているので、 $884 / 35 = 25.2 \text{ cal} / \text{cm}^2 / \text{h}$ は輻射熱によったものであると解してもさしつかえない。

輻射熱のあまり関係しない例として表 7-13 の 2 月 24 日～25 日の夜間通電の記録がある。これは通電は自動制御装置を通して行ない、設定温度を $+5^\circ\text{C}$ とした。すなわち、舗装表面近くの温度（自動制御用温度計）が $+5^\circ\text{C}$ 以上になると自動的に切断されるようにしたものである。したがって、いくぶんの過熱は考えられる。また輻射熱の方も朝夕の間ではいくぶん加えられたと考えられるが、この間の降雪が 20 cm で効率が 51% になっているのは、図 7-19 の特異点となって表われている。これは輻射熱の有無の影響を表わしている。

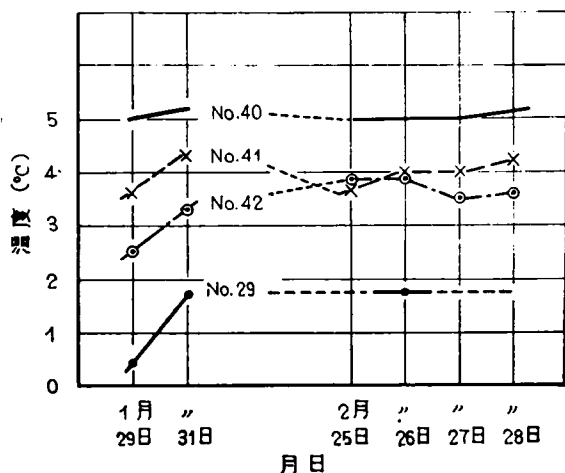


図 7-22 地中温度の変化(アスファルト舗装下部)

※長期間の地中温度の変化

図 7-22 は測定期間中の地中温度の変化である。これは各記入月日の温度測定を開始する直前のまだ電源スイッチを入れないときの温度であり、連続加熱中の温度ではない。地中 1.5 m の地点 No. 40 はほぼ 5°C で全期間一定である。1.0 m の地点 No. 41 についても 4°C 前後でほぼ一定と考えられる。しかし、0.5 m の地点 No. 42 は最初 2.5°C であったものが、その後は大体 3.5°C 程度になっている。また、舗装直下の点 No. 29 も最初は 0°C に近いものであったのが、その後は 2°C 近くになっている。すなわち、加熱によって内部に蓄積されたカロリーは、路盤温度を上昇していることになる。これを図 7-23 に示す。この図から計算される蓄積カロリー H は

$$H = \left\{ (1.75 - 0.5) + (3.5 - 2.5) \right\} \frac{4.5}{2} + \left\{ (3.5 - 2.5) + (4.0 - 3.7) \right\} \frac{5.0}{2} + (4.0 - 3.7) \frac{2.0}{2} \times r \times \rho$$

$$= 32.7 \text{ cal/cm}^2$$

これは発熱量を 0.00614 cal/cm^2 とすると

$$M = H / Q = 32.7 / 0.00614 = 5320 \text{ sec} \div 1.5 \text{ hr}$$

すなわち、これは 1.5 時間の通電量に相当し、下方流出カロリー H_u は

$$H_u = Q \times \frac{1}{2} \times 0.8 \times 3600 + Q \times \frac{5}{13} \times 2.7 \times 3600$$

$$= 31.8 \text{ cal/cm}^2$$

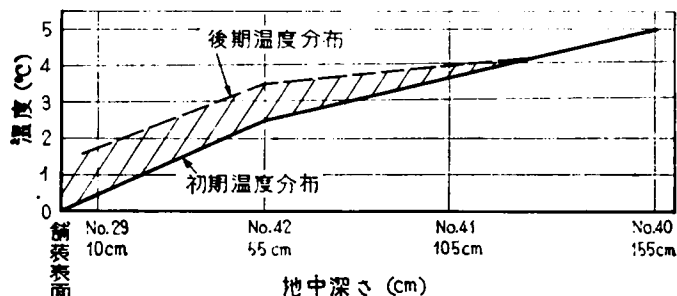


図 7-23 地中温度上昇図

これらを総合すると、1回の3.5時間の通電で地中温度は図7-23程度に上昇し、それより長く通電すると地中温度はなお上昇する。また通電を中止すると、もちろん熱カロリーは舗装表面から流出し地中温度は低下する。しかし、長期間通電の場合は常に図7-23程度の温度を保ち、通電開始とともに容易に図7-21の平衡状態に達すると考えられるので、長期実用的には熱効率を60%程度と考えてさしつかえない。

(ハ)アスファルト加熱における結論

以上および表7-15を合わせ考えると初期加熱時間は30分程度である。すなわち加熱開始より30分すると表面に熱カロリーがではじめ、約1時間すると融雪がさかんになる。熱効率は短時間加熱の場合には悪く、長時間加熱になるにしたがってよくなり、1.5～2.0時間後には加熱カロリーの約60%が表面に流れるが、総合的な効率は20%程度であり、5～10時間加熱したとき40%程度となる。しかし、断続しながらも長期間加熱を行なう場合には、地中温度が上昇するので、熱効率はよくなる。この場合も初期加熱時間はほぼ同じであるが、その後は熱の表面流出効率は60%またはそれ以上になると考えられる。

電熱工法を実用した場合の融雪に対する効率は、雪の量の多いほど効率がよく10cm以上の積雪を日中で融解した場合の、見かけ上の効率は70%程度である。しかし、これには無駄な通電が含まれるとともに、逆に太陽の輻射熱の影響が大きいのであって、夜間輻射熱のない場合の効率は45%～50%程度である。

本実験の如く1m²に約200wの加熱配線をした場合の融雪能力は、雪の密度を0.08として、夜間では1.0～2.0cm/hr、日中では2.0～4.0cm/hr程度と考えられる。また、融雪はなるべく日中に行なうようにし、夕方までに完了するように計画するのが効果的である。

(c)コンクリート橋面の熱効率

(イ) 実測値の検討

図7-24はコンクリート橋面内部温度の記録である。このときの降雪量と電気量との関係の効率を η とすると

$$\eta = \frac{20 \text{ cm} \times 0.066 \times 80 \text{ cal} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}}{13 \text{ h} \times 200 \text{ w} \times 860 \text{ cal}}$$

≒ 47%

この場合融雪完了時間は、推定で6時とした。測定電源電圧は202Vであったので200Vで計算した。また表7-17および図7-25は日中の加熱融解の記録である。この場合の効率は

$$\eta = \frac{8 \text{ cm} \times 0.06 \times 80 \text{ cal} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}}{2 \text{ h} \times 200 \text{ w} \times 860 \text{ cal}}$$

≒ 112%

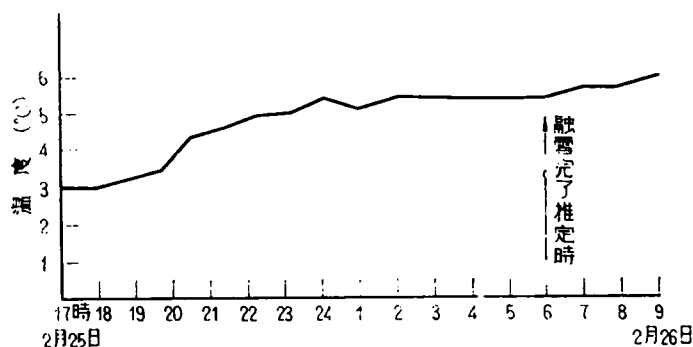


図7-24 温度変化曲線（コンクリートの部分に大雪25日
17時～26日朝の間に20cm積雪、9時でスイッチ切断）

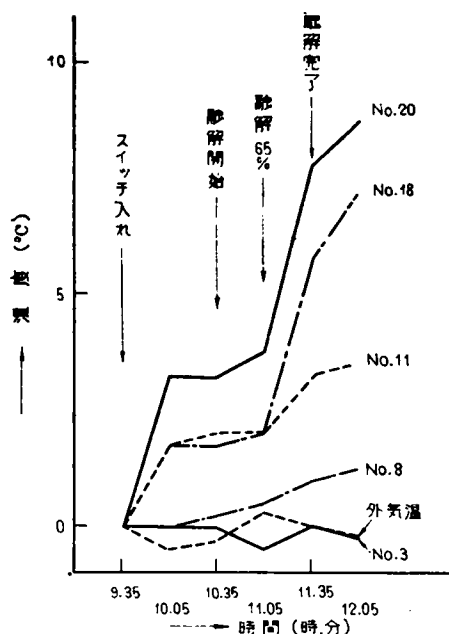


図7-25 加熱時温度変化曲線（コンクリート橋
2月28日）

これらはアスファルト舗装の場合とよく似ている。すなわち、夜間の輻射熱のない場合は効率は40～50%程度であり、日中輻射熱のある場合は100%を越している。また図7-25より融雪中の温度勾配は一定であって、地表面が0°Cに対して発熱点付近が325°C、また3cmの点No.11は2.0°Cである。したがって、表面に流出する効率は

$$\phi = \frac{\frac{3.25}{5}}{\frac{3.25}{5} + \frac{1.25}{3}} \div 61\%$$

したがって、コンクリートの場合も加熱された熱カロリーは最初上下に等しく流れ、次いで上方に60%流れる状態になると考えられる。たゞアスファルト舗装の場合、定常流になるまでに30分またはそれ以上の時間を必要としたのに対し、コンクリートの場合は、30分以内で定常流状態になっていることが分る。

表7-17 コンクリート橋面温度計測値（昭和39年2月28日）

時 間	9.5	10.05	10.35	11.05	11.35	12.05
外 気 温		-0.5	-0.3	+0.3	+0.0	-0.2
表面温度計	0	+0.3	+0.2	+5.2	+8.5	+9.5
20 △	0	+3.25	+3.25	+3.75	+7.75	+8.75
21	0	+3.25	+3.25	+3.50	+6.50	+8.00
22	0	+3.25	+3.25	+3.50	+6.75	+8.50
18 △	0	+1.75	+1.75	+2.00	+5.75	+7.25
23	0	+2.00	+2.25	+2.50	+5.75	+7.25
9	0	+0.75	+1.25	+1.50	+2.50	+2.75
11 △	0	+1.75	+2.00	+2.00	+3.25	+3.50
13	0	+1.50	+1.75	+1.75	+3.00	+3.50
10	0	+1.25	+2.00	+2.25	+3.25	+3.50
12 △	0	+1.00	+1.25	+1.50	+2.50	+2.75
5	0	0	+0.25	+0.25	+1.00	+1.00
8 △	0	0	+0.25	+0.50	+1.00	+1.25
6	0	0	+0.25	+0.50	+1.25	+1.50
7	0	0	+0.25	+0.50	+1.25	+1.25
3	0	0	0	-0.5	0	-0.25
4	0	0	+0.25	-0.25	+0.25	0
1	0	0	0	-0.5	0	-0.25
2	0	0	0	-0.5	0	-0.25
摘 要	9.35 スイッチオン		積雪8cm 密度0.06	11.05 融雪60~70% 完了	11.35 融雪完了	

(ロ) コンクリート加熱における結論

以上により、コンクリート舗装は熱伝導が早く、10~20分で熱が舗装表面に表われて、融雪を開始する。30分以上になると下方への熱伝導は10cm以上となり、ほぼ層発熱に近い現象となる。2時間以上で、それまでの全熱効率はや40%となる。しかし、発熱部分の温度上昇は比較的少なく、5

時間後でも 5°C 程度にすぎない。これに対して、アスファルトは熱伝導が悪く、内部の温度上昇が大きいので、最初の一定時間までの熱効率はコンクリートの場合より低くなる。したがって、コンクリートの通電中の最大単位時間当りの融雪能力は、アスファルト舗装の場合とほぼ等しく、夜間で $1\sim 2\text{ cm/h}$ 、日中では $2\sim 4\text{ cm/h}$ 程度である。たゞ本橋の如く 50 cm 程度のスラブ橋の場合（他の橋梁もほぼ同様に考えられる）は道路上のアスファルト舗装の場合に見られたような、地中に熱カロリーを蓄積することがなく、図7-26によっても明らかなように、スイッチ切断後 $8\sim 10$ 時間で 0°C となる。だから長期通電しても内部温度の上昇はなく、したがって第2回目以降も特に効率がよくなるということはなく、上述の状況を毎日繰返すことになる。

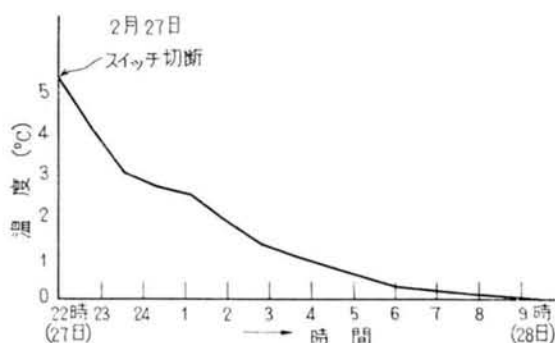


図7-26 温度降下曲線（コンクリート点12）
（雪なし，電力を切断した状態）



図7-27 赤外線による融雪

表7-18 赤外線融雪量

年月日 時刻～日時	降雪	消費電力量	効率	路面	備考
39年 2月23日, 16時10分～24日10時00分	7cm	72kW	13%	セメントコンクリート	(夜) 18時間
" 2月24日, 15時00分～25日 9時00分	23 "	72 "	44 "	"	" "
" 2月25日, 15時30分～25日17時00分	1.5 "	6 "	34 "	アスファルト	(昼) 1.5 "
" 2月25日, 20時10分～26日 9時00分	20 "	52 "	52 "	"	(夜) 13 "
" 2月27日, 21時30分～28日 9時35分	8 "	48 "	22.6 "	"	" 12 "

〔 3 〕 赤外線による加熱

電熱線による加熱実験と平行して、赤外線による照射実験も行なった。使用した投光器は、一般工業用赤外線乾燥器で、1 灯 1 kW のものである。この投光器を路側のポールに着けて路面を照射し、融雪の状況を観測した。（図 7-27 参照）この場合の 4 灯当り照射融雪面積はほぼ 20 m^2 であったので 200 W/m^2 となっている。この実験の観測結果は表 7-18 の通りである。この表によると電熱線の場合と同様に、降雪量の少ない場合は効率が悪く、また夜間は日中の輻射熱のある場合に比べて小さくなっているのは当然といえよう。この実験中舗装表面の温度は融雪中は 0°C 前後であり、融雪完了後は $+4^\circ\text{C} \sim +8^\circ\text{C}$ であって外気温度との温度差は $4^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ に達している。外気との温度差による空気中への熱伝導は計算によると、温度差 $8 \sim 10^\circ\text{C}$ で 200 W/m^2 となり、ほぼ赤外線の照射熱量を全部吸収していることになり、 $4 \sim 5^\circ\text{C}$ で 50% 効率と考えてよい。

したがって赤外線も十分路面凍結対策として使用しうることが明らかになった。特に赤外線は舗装表面のみを加熱するから有効であり、橋梁などで下部が熱伝導の良いコンクリートであり、橋面舗装が熱伝導の悪いアスファルト舗装である場合などは当然赤外線利用も考えられる。また赤外線は電源さえあれば簡単に取り付けることができるのも長所である。しかし反面赤外線は輻射した瞬間に作用し、舗装体中の電熱線のように、余分のカロリーを温度上昇という形で保留し、調節することができない。降雪の強度は常に変動するが、赤外線の効力は一定であって、その最大なものに合わせなければならず、もし多少でも積雪を見ると効率は低下して、積雪はますます多くなる。また配光も不均等であって、一部無駄な温度上昇をする欠点がある。

〔 4 〕 電熱利用における自動制御および凍結予報

(1) 自動制御装置

電熱工法の利点は効果の確実さの他に、操作が容易であることが大きい。操作を容易にして、しかも通電を経済的に行なうためには自動制御装置が必要である。自動制御装置は外的状況（気温、湿度、雪氷）を検知する部分とこれに応じて、加熱電源スイッチ、警報ランプなどを作動する部分とからな

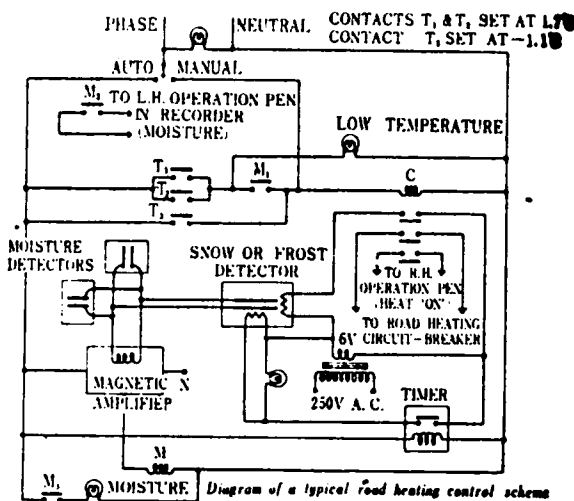


図 7-28 自動制御装置(オーストラリア)

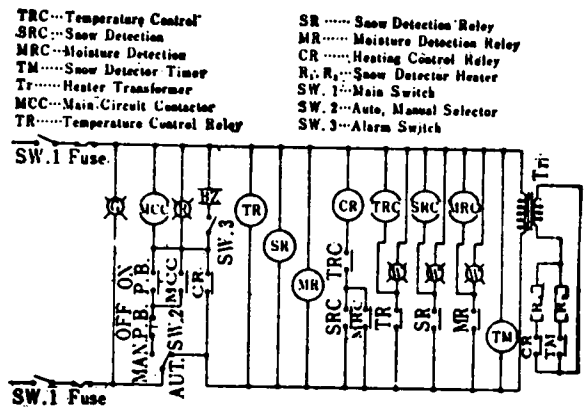


図 7-29 自動制御装置(古河電工)

る。図 7-28¹²⁾ はオーストラリアで作られたものの構造図であり、図 7-29 は古河電工製作のものである。オーストラリアのものは温度検出部に熱電対を利用し、湿度は路面上に埋込まれた 2 電極間の抵抗を 1 メガオームとし、これが $\frac{3}{4}$ メガオームに落ちると作動するように調整されている。雪および霜も同様の方法で検出するが、これにはヒーターが着けてあり、一定時間毎に自動スイッチが入って加熱し、雪を融解して湿度を検出する。 T が温度リレーで、路面温度が 1.7°C 以下に落ちると接点 T_1 または T_2 が閉じる。次いで湿度リレー M_1 が閉じると制御リレー C が働らく。 T_3 は路面温度が -1.1°C に落ちると閉じ、湿度に無関係に制御装置 C を作動させる。この装置は道路表面が非常に低温になることを防ぎ、低温路面に湿度を生じた場合の加熱遅れを防止するためのものである。制御リレー C の機能は (a) 主加熱回路を働かせること、(b) 補助接点を使って主接点を働かせ自記させる。(c) 雪および凍結の検出器の中にある乾燥用ヒーターの回路を働かせる。したがって道路加熱は路面温度が一定以上になるか、または路面が乾燥してしまうかすると終るように調整されている。図 7-29 の古河電工のものも原理はほぼ同じであるが、温度測定にサーミスタを使用している。

これらの装置は単に電熱工法の場合だけでなく、道路管理のための警報用としても使用することができる。

(2) 凍結警報装置

単に電熱融雪する場合だけでなく、薬剤その他を散布する場所についても、作業上および走行車の安全上、路面の凍結状況を警報する装置は大変有効である。ディテクターの原理は自動制御の場合と同様であり、これを伝達通報すればよいことになる。図7-30¹⁸⁾は英国で使用されている警報装置の略図である。

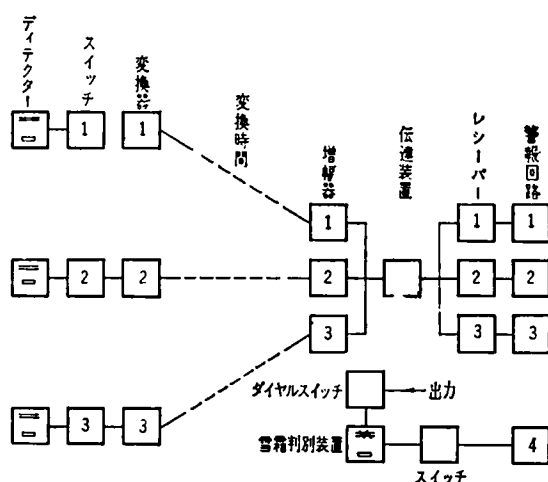


図7-30 警報装置の略図

これは温度並びに湿度ディテクター（1～3チャンネルで作動する三つの分離した警報チャンネル）と一つの雪判別装置とをもったものである。

(3) 凍結予報装置

路面の気象状況を測定した上に、さらに熱流動計算を行ない、一定時間後の路面温度を推定する装置をつけたものが凍結予報装置である。図7-31¹⁹⁾はこの原理の構成図である。図から明らかなように、路温、地下温を始めとする地点気象を測定した上で、その地点における、乱流熱交換量、蒸発熱量、放射熱量を計算し、次いで路温の変動計算を行なうと、一定時間後の路面温度が推定される。この推定温度とは別に測定された、路面水分の有無とから、一定時間後の凍結状況を予報するものである。

§7.6 その他の工法

〔1〕 散水消雪工法

雪を融解する方法の特殊なものとして、わが国では長岡地方で始められた散水消雪工法^{20) 21)}がある。最近では長岡地方のみでなく広く北陸、東北地方でも実用に供されている。図7-32参照。この工法は比較的温度的の高い地下水を豊富に積雪面に散布して、地下水のもつ温度エネルギーで融雪するものであって、設備費も比較的安価で（600円/ m^2 程度）、給水費用のみしか必要でないので非常に経済的である。しかし地下水の条件と同時に外気温も比

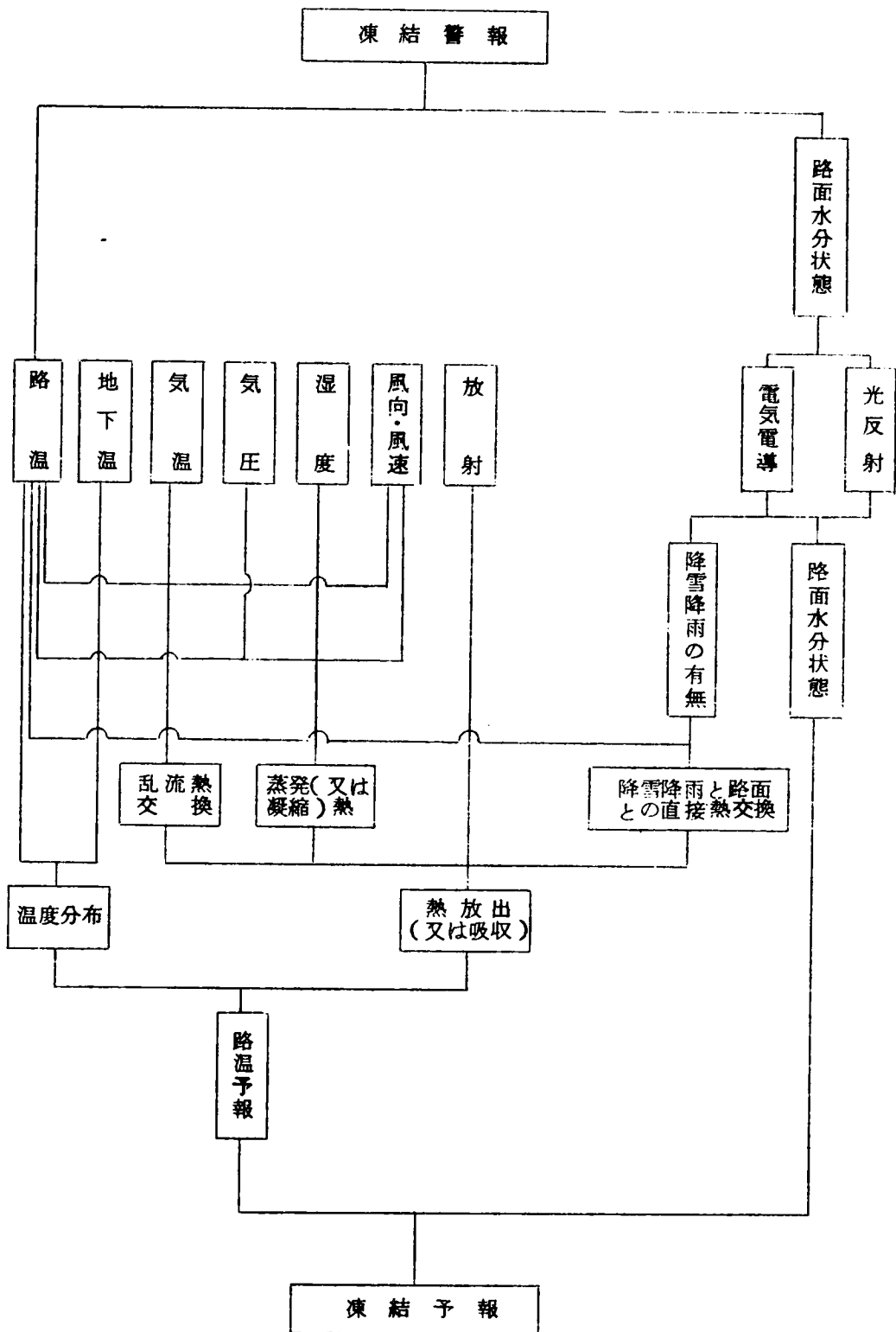


図 7 - 3 1 凍結予報装置構成図

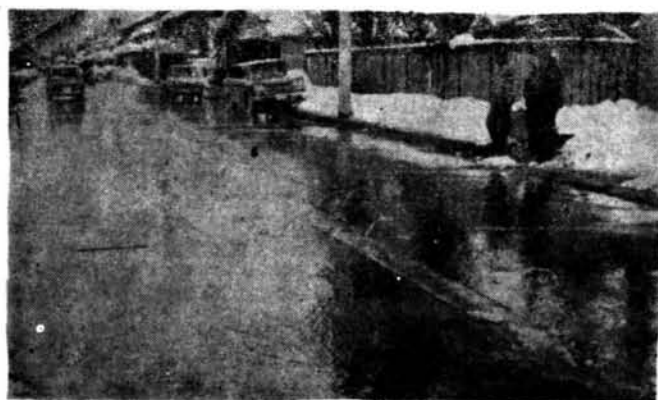


図7-32 散水消雪例

較的高い地方（±0℃）に適していると考えられる。消雪に必要な地下水量 V は次式によって計算される。

$$V = \frac{(q \cdot p) (t \cdot C_s + I_c + T_2)}{(T_1 - T_2) \eta} \quad (7-6)$$

ここで q : 降雪量 T_1 : ノズル噴水が路面に着いたとき
 p : 雪の密度 の水温
 t : 雪の温度 T_2 : 側溝流末の最低水温
 I_c : 氷の融解熱 η : 水温損失効率
 C_s : 氷の比熱

(7-6) 式において q を最大日降雪量 38 cm/日、 $p = 0.1$ 、 $t = -1^\circ\text{C}$
 $T_1 = 125^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = +1^\circ\text{C}$ 、 $\eta = 0.5$ として計算すると

$$V = 6.2 \text{ cc/sec/m}^2$$

となる。これは 1.5 cm/hr の降雪であるが実用上この程度で十分であると考えられる。これらの条件の下に道路に配管した構造の一例は図7-33の如くである。この場合道路中心に噴出した地下水は道路横断方向に流下しながら積雪と熱交換して行き + 0℃以上の温度で側溝に流入することになる。

〔2〕 スノーマルター

地理的条件が悪くて散水消雪ができない場所で、融雪を行なう必要のある場合は、電熱の外に、²²⁾ 燃焼式スノーマルターが利用される。燃焼式スノーマルターには各種のものがあるが、その一例を図7-34に示す。図に示す如

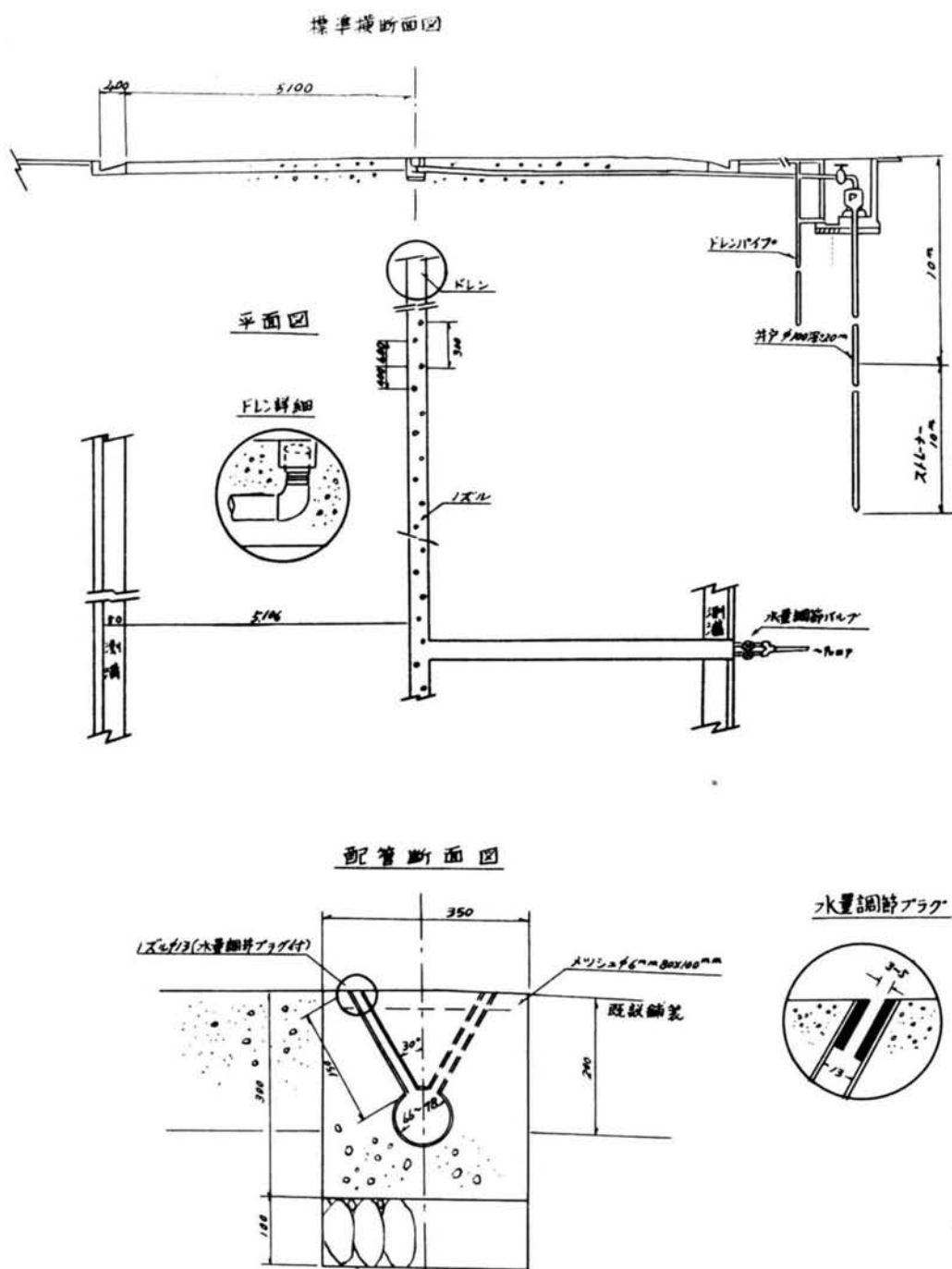


図7-33 消雪パイプ構造

く、灯油または軽油の燃焼熱で融雪するものであって、一機の融雪能力は
 $30 \sim 40 \text{ t/hr}$ 程度であり、積雪 1 m^3 (比重 0.5) の融雪費用は 250 円前

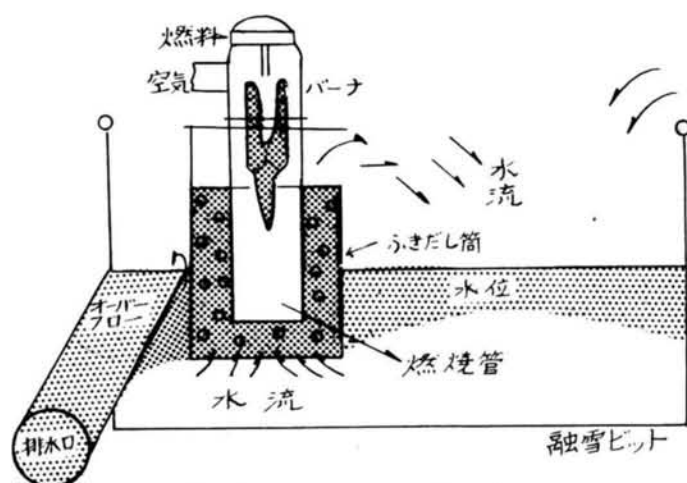


図 7-34 スノーマルター

後である。かくの如くスノーマルターは融雪のためには最も高価になるが、移動可能であり、特殊な場所では十分利用価値がある。

§ 7.7 結 語

路面の雪氷対策は、はじめに述べたように、安全走行上非常に大切である。舗装面のすべり摩擦係数は、一度路面に積雪または凍結があると、全く本来の数値を失ない、非常に小さい値となる。一般の舗装面のすべり摩擦係数値が、湿潤で 0.4 ~ 0.7 の範囲にあるのに対して、雪氷路面のそれは 0.1 ~ 0.4 であって、いかなる舗装面よりもすべりやすくなるのである。雪氷路面のすべり対策としては、除雪の外に、雪氷を融解する方法と、すべり摩擦係数を増大させる方法とが考えられる。

雪氷を融解する方法には、電熱を利用する方法、100%当量の薬剤を散布する方法、温水の利用などがある。

まず電熱で融雪する場合 電熱線を舗装体に埋設する方法と、赤外線投光器によって照射する方法とがある。一般に電熱線を埋設する方法が確実であるが、埋設不可能な場合とか、舗装下部へ大きく熱伝導するおそれのある所では、赤外線照射の方がよい。電熱によって融雪する場合 200 W/m^2 程度の加熱をすると、 2 cm/hr (比重 0.08) の融雪を行ない、条件の悪い場合(積

雪量少、風速大、外気温低い）は 1 cm/hr 、条件の悪い場合（日中太陽の輻射熱がある場合）は 4 cm/hr 程度融雪できる。舗装の種類による効果の差はあまりない。

つぎに薬剤を 100% 当量散布する場合、これは氷点降下を利用するのであるから完全に融解するのに長時間を要する。一般に積雪量の少ない所とか、比較的温暖（ $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ）な地方で利用され、時には溶液散布することもある。

さらに完全融雪の特殊な方法として、地下水を利用した散水消雪がある。地下水が豊富で比較的温暖な地方（ $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ）で利用される。普通 6.2 cc/sec/m^2 程度の散水で 1.5 cm/hr 、 40 cm/日 の積雪を融解することが可能である。

また気温が低く雪の多い地方では、完全融雪工法はいずれも高価となり、實際上実施不可能である。この場合完全融雪はできないが、すべり摩擦係数を増大させる工法をとる。少量の塩化物散布がこの工法である。積雪上に $30\sim 50\text{ g/m}^2$ の塩化物を1日1回散布しておく、積雪面のすべり摩擦係数は、初期の雪の状態（すべり摩擦係数 $0.1\sim 0.3$ ）のいかにかわらず、大体 0.4 （スノータイヤ）に向上し、走行の安全を保つことができる。

最後に耐摩擦材として砂、碎石粉などを散布する工法もある。しかしこの場合耐摩擦材を単独で散布したものは、すべり摩擦係数の増加は少なく、 0.3 以上にはならない。しかも時間の経過と共に骨材が雪の中に埋没して効果がなくなり、薬剤に比して散布手間も多くなるので、最近ではあまり使用されなくなった。

以上雪氷対策としては各種の工法があり、その効果もまちまちであるが、これらは路線線形および走行状況と、各地点の極地気象条件とを考慮して、個々の地点に応じた工法を採用すべきである。

参 考 文 献

- 1) "Dienstabweisung für die Verwendung von Streusalzen in Winter. " "Merkblatt für Massnahmen gegen Winterglätte auf Strassen. " der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen E. V. 1959.
- 2) "Technical analysis of salt (sodium chloride) for ice and snow removal" Salt Institute, Chicago, Illinois.
- 3) H. M. Edwards and D. R. Brohm, "A study of the effects of chemicals and abrasives in snow and ice removal from highways. " Department of Civil Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario.
- 4) 古川巖「アイス・リムーバー X27 の除雪効果について」雪氷24巻1号, 1~頁, 1962.
- 5) 「路面雪氷対策第一次報告書」土木研究所、道路研究室, 1963.
- 6) 市原薫「昭和39年度に測定した路面のすべり摩擦係数について」土木技術資料7巻7号 12~頁 1965.
- 7) Dr. Heinz Buggisch, "Chlorcalcium, ein schnellwirkendes Streusalz zum Tauen von Eis und festen Schneebelägen auf Strassen." Strasse und Autobahn, Jan, 1963.
- 8) 市原・徳島「塩化物による路面の凍結防止について」道路, 昭和39年6月号 481~頁.
- 9) 宮内・小野「塩類による路面氷の除去とスリップ試験(防蝕試験報告)」専売公社, 小田原試験場, 1963.
- 10) Asphalt Institute Quarterly. April, 1963.
- 11) 小山・高橋・川井「塩化カルシウムの砂を散布した場合の氷結路面のすべり抵抗について」北海道土木試験所報告 128号 1964.
- 12) "Techniques for automatic heating of road surfaces. " Australian Electrical World, Sept. 1962.
- 13) I. G. Storey, "Road heating the mound. " Traffic Engineering and Control, Dec. 1963.

- 14) 「仙人トンネル氷結防止舗装試験研究報告」古河電気工業KK. 昭和37年3月.
- 15) P. A. Schaerer, "Melting snow and ice by heating pavements."
Building Research Note, Division of Building Research,
National Research Council, ,Ottawa,Canada, Jan. 1966.
- 16) J. P. Frier, "Design requirements for infrared snow melting
systems." Illuminating Engineering, Oct. 1964.
- 17) 市原・金泉・徳島「電熱による路面凍結対策(1), (2)」土木技術資料 6巻10号. 9～頁
6巻11号 30～頁, 1964.
- 18) P. J. Williamson, "Experimental ice-warning system."
Traffic Engineering, Dec. 1963.
- 19) 「凍結研究Ⅰ, 道路気象総合観測とその解析, 凍結研究Ⅱ 路面水分状態自動検知の一方
式, 凍結研究Ⅲ 路温予知に関する解析」早川電気KK 1966.
- 20) 土屋芳雄「消雪パイプについて」第19回建設省技術研究会, 1965.
- 21) 大沼国之「散水消雪」雪氷24巻6号 1962年.
- 22) 「融雪機性能試験および調査報告」近畿地方建設局, 昭和41年3月.

第 8 章 結 論

〔 1 〕 総 論

自動車タイヤと路面の間のすべり摩擦係数について、主として玆用のタイヤゴム質のものについて、各種道路および走行条件に対するすべり摩擦係数値の変化について論じた。この結論として最も重要なことは、路面とタイヤの間のすべり摩擦係数は温度と速度に応じて変化するものであり、常にこの条件を統一し、または換算して論じなければならない。なお普通路面のすべり摩擦係数の基準値（限界値）は路面温度 35°C 、走行速度 60 Km/h とした場合 0.4 （普通の道路区間）および 0.45 （危険な道路区間）とすべきであると考えられる。さらに路面のすべり摩擦係数が最も小さくなるのは、雪氷路面であり、交通網体系の統一的維持上からも、雪氷路面のすべり対策は重要視されなければならない。

さらに本論について各章如に結論を述べると次の如くである。

〔 2 〕 路面とタイヤの関係

路面とタイヤの間のすべり抵抗は、すべり摩擦抵抗のみではなく、その他の抵抗も含まれているが、性格上すべり摩擦抵抗として論じた方がよいので一般にすべり摩擦抵抗という。

路面とタイヤの間のすべり摩擦抵抗は付着剪断抵抗と、ゴムのヒステリシス損失による抵抗と、凝集力による抵抗とがあり、乾燥状態では付着剪断抵抗が最も大きく、湿潤時にはヒステリシス損失による抵抗と、付着剪断抵抗の一部とが働らく。凝集力による抵抗はごく少部分を占めるに過ぎない。

乾燥状態でのゴムの摩擦抵抗は、主として付着剪断抵抗であり、係数値は一定ではなく、荷重のほぼ 3 乗根に逆比例し、荷重が一定の場合は真の接触面積に比例する。すなわち荷重強度が小さく、表面がなめらかな場合に係数は大きい。

湿潤状態のゴムの摩擦抵抗の主要部はヒステリシス損失によるすべり摩擦

抵抗であり、ヒステリシス損失は真の接触面の平均圧力に比例する。したがって路面が粗で、ゴム質の硬い場合に大きい。しかしこの外に上述の付着剪断抵抗の一部も加わるので定性的にはやや複雑である。

すべり摩擦の定義として、縦すべり摩擦抵抗とはタイヤが進行方向と同一方向に回転しているときに、タイヤに制動をあたえ、このときタイヤの接地面に進行方向と逆方向に生ずる抵抗力である。横すべり摩擦抵抗とはタイヤを自由に回転させたまま、タイヤの回転方向と θ の角度の方向に変移を起させた場合、タイヤ面に直角の方向に働らく抵抗をいう。一般には横すべり角 90° の場合を単に横すべり摩擦という。

したがって縦すべり摩擦係数と、横すべり摩擦係数は本質的には同一のものである。

〔 3 〕 制動時における車両運動とすべり抵抗

すべり抵抗は走行の安全性にとって最も重要なものの一つである。しかもすべり抵抗と制動停止距離の関係は単に車道上の問題のみでなく、路側余裕部分のすべり抵抗と車両逸脱時の減速および停止距離という、いわゆる道路の安全性と密接な関係にあり、今後の道路構造はこの面からも定量的に把握する必要がある。

まず直線走行時のすべり摩擦係数と制動停止距離の関係は、今までは摩擦係数は制動中一定とした簡単な計算式によっていたので、実状に合わない場合が多かったが、本論文ではより正確に、速度と摩擦係数が一次相関、および二次相関の場合について計算し、その各々に対する基準公式を作った。これらの計算によると、従来の公式によるものより制動停止距離は5～20%小さくなっている。

つぎに路面のすべり摩擦係数の左右の差も制動する場合問題となる。この場合車種によってその影響は異なるが、一般に左右の差が30%、摩擦係数で0.15以上になると危険である。

さらに曲線部走行中の問題は、従来主として横すべり摩擦係数によって論じられていたが、実際に危険なのは曲線部走行中に制動した場合の偏走であり、これは縦すべり摩擦の横方向分力として考えるべきである。

また路側部のすべり摩擦抵抗値と偏走車の安全性は、全く相関するので、今後の道路構造に当っては、安全性と路側巾員を定量的に結びつけて計画すべきである。

〔 4 〕 路面のすべり抵抗

路面のすべり摩擦は本研究の中心となるものであり、とくにすべり摩擦係数の基準はその結論である。以下順をおって述べる。

まず現実の路面のすべり摩擦係数は 1.0 ~ 0.1 の広い範囲に分布している。コンクリート舗装では 1.0 ~ 0.4 であり、特殊の場合 0.2 程度まで下る場合もある。アスファルト舗装も 1.0 ~ 0.4 の範囲である。特別の場合 0.1 程度まで下ることが予想される。いわゆるすべり止め舗装と言われる粗目のアスファルト舗装のすべり摩擦係数は普通の舗装のものとあまり差はない。エメリー、シリカサンドなどを使用したすべり止め舗装は良好である。雪氷路面のすべり摩擦係数は 0.1 ~ 0.4 である。仮設鋼板のすべり摩擦係数は 0.1 ~ 0.6 であり、湿潤時に特に小さくなる。

つぎにすべり摩擦に影響する要因については(a)タイヤゴム質によって摩擦係数は異なるが現在実用されているものは(大型車-天然ゴム、小型車-SBR合成ゴム)あまり差がない。(b)トレッド模様は主として湿潤時の摩擦係数に関係し、排水性のよい形状のものがよい。(c)タイヤ内圧、接地圧、輪荷重およびタイヤ形状もすべり摩擦係数に関係するがその影響は比較的小さい。(d)舗装の種類はそれのみでは摩擦係数に決定的な影響はなく、結合材の量と骨材の性質が影響する。(e)路面の粗さは摩擦係数に影響するが+に影響する面と-に影響する面とがあるので、一般的に定量的な把握は困難である。しかし粗度が摩擦係数に影響するのは非常に小さい凹凸である。(f)路面およびタイヤのよごれは当然摩擦係数を減少させる。(g)路面の乾燥と湿潤については、当然湿潤状態のすべり摩擦係数が小さいので、道路の安全走行を論ずる場合、常に湿潤状態での係数値を標準にすべきである。(h)摩擦係数は温度および速度に大きく影響される。普通のコンクリート舗装、湿潤時においてこの重相関式は $f = 0.000105t^2 + 0.0002vt - 0.0111t + 0.000056v^2 - 0.0117v + C$ がえられた。簡単には温度の影響は $0^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲で

は、路面温度 1°C 増大するごとに摩擦係数は 0.01 減少し、 20°C 以上ではあまり変化しない。速度に対しては 60 Km/h 前後において 1 Km/h の速度増減に応じて、摩擦係数は 0.045 減少または増大する。(i) すべり摩擦係数の季節による影響もかなり大きいが、本研究によって温度の影響を別に考慮するとそれ程大きくはない。コンクリート舗装ではほとんど考慮する必要はないが、アスファルト舗装ではなお検討を要する。(j) 制動条件は当然摩擦係数に影響を及ぼすが、 100% ロック縦すべり摩擦係数を標準に考えてよい。

そして結論として一般道路の路面のすべり摩擦係数の基準値（限界値）は外的条件を湿潤、リブタイヤ、路面温度 35°C 、 60 Km/h とした場合一般部で 0.4 、重要な所では 0.45 とすべきであると考えらる。

〔 5 〕 路面のすべり抵抗測定法

すべり摩擦の測定法には室内実験と実物実験の二種類がある。室内実験はゴム質の定性的なすべり特性を知るには十分であるが、タイヤと路面の摩擦を論ずる場合には主として実物実験が必要である。

現場測定の方法には自動車を制動して減速度をとる方法と、制動停止距離によって計算する方法があるが、共に不正確である。試験車に特定の測定輪をつけ、これを制動して摩擦抵抗を測定するものが最もよい。縦すべり抵抗の測定はトレーラー構造のものでよいが、横すべり抵抗の測定はやや複雑な構造となる。本研究は主として土木研究所の大型道路試験車によったものであり、実物タイヤによる縦横両方向測定可能な装置をもったものである。

〔 6 〕 道路のすべり対策

道路のすべり対策としては総べてのものを検討しなければならない。単に路面だけの問題ではなく、運転技術、制動機構、タイヤの種類および状況なども検討しなければならない。

まず舗装路面のすべり対策としては、良質の骨材を使用することと、結合材の量を少なくすることである。この外にコンクリート舗装では仕上時に表面にレイトンスまたはセメントペーストの層を作らないようにすることである。一方アスファルト舗装では舗設後フラッシュすることのないような配合

にすることが必要である。

つぎに一般にコンクリート舗装は摩擦係数値の範囲が小さく、経年的な変化もあまりなく安定である。一方アスファルト舗装は摩擦係数の範囲が大きく、良好なものはコンクリート舗装よりも大きい摩擦係数のものもあるが、小さいものも多く、しかも経年的に変化するので注意を要する。さらに路面上にペイントを塗布したり、異種の舗装を行なったものは部分的に摩擦係数が変化するので危険である。路面のよごれ及び仮設鉄板等も摩擦係数が小さいので注意を要する。

〔 7 〕 雪氷路面のすべり対策

路面が雪氷に覆われた場合のすべり摩擦係数は、舗装面本来の摩擦係数値と全く異なった小さい値（ $0.1 \sim 0.4$ ）になる。しかも雪氷の状態の変化に応じて容易に係数値が変化するので、走行の安全上、雪氷路面のすべり対策は特に重要である。雪氷路面のすべり対策としては、除雪の外に雪氷を融解する方法と、すべり摩擦係数を増大させる方法とがある。

まず雪氷を融解する方法には、電熱を利用する方法と、薬剤を 100% 当量散布する方法、および温水による方法がある。(a)電熱で雪氷を融解する場合、電熱線を舗装体に埋設する方法と、赤外線投光器によって照射する方法とがある。いずれの場合も $200W/m^2$ 程度の加熱をすると $1 \sim 4cm/h$ 、平均 $2cm/h$ の積雪を融解することができる。(b)薬剤を 100% 当量散布する方法は、完全に効果を発揮するのに長時間を要し、費用も莫大になるので積雪量の少ない所とか、比較的温暖な地方で利用される。散布は原則として単体散布であるが、溶液散布することもある。(c)長岡地方を中心に行なわれている、地下水による散水消雪工法は、わが国独特のものである。普通の散水で $2 \sim 4cm/h$ の積雪を融解することができる。温水パイプ、ボイラーなどによる消雪も考えられる。

つぎにすべり摩擦係数を増大させる方法には、少量の薬剤散布法と耐摩擦材の散布とがある。(a)少量の薬剤散布法は、積雪上に $30 \sim 50g/m^2$ の塩化物を毎日散布する方法である。本研究の結果によると、この場合積雪面のすべり摩擦係数は、初期の雪の状態（すべり摩擦係数 $0.1 \sim 0.3$ ）のいか

んにかかわらず0.4程度に向上し、走行上良好である。(4)耐摩擦材として砂、碎石粉などを散布する方法は、ある程度(すべり摩擦係数0.3)の効果はあるが、あまり多くを期待できず、効果も短期間であり、散布および除去に手数を要するのであまり良好な工法ではない。

〔8〕 結 語

以上でのべたように、路面のすべり摩擦係数は自動車の運動、特に制動状態における車両運動に密接な関係をもつものであり、すべり摩擦係数の実態を定量的に明らかにすることによって、走行の安全を確保することができる。

本研究の結果によると、路面のすべり摩擦係数は路面状態の外各種の要因によって大きく変化する。特に係数値が小さくなるのは、舗装体としては平滑摩耗性の骨材(石灰岩等)を使用した場合および結合材を特に多量に使用した場合である。外的要因としては、湿潤路面であり、路面温度が高く、走行速度の大きい場合に係数値は小さくなる。この係数値の小さくなった状態すなわち湿潤、35℃、60km/hでのすべり摩擦係数の限界基準値として、普通の道路区間0.4、危険な道路区間0.45とすれば、施工上も可能であり、走行の安全も確保できるので、この値をわが国の路面のすべり摩擦係数の基準値として提案するものである。なお測定条件が異なる場合の換算方法についても規定した。

しかし雪氷路面等においてはこの基準の適用は困難であり、今後もさらにその対策を検討しなければならない。

路面のすべり摩擦における今後の問題点は厚い水膜のある場合の高速走行時にハイドロブレーニングを起すことである。また完全なハイドロブレーニングには到らないまでも、高速時にすべり摩擦係数が減少することは本研究の結果明らかであり、これらの現象を解明して、その対策を確立することが今後の重要課題であると考えられ、引続き研究を進めたいと考えている。

別 表

(1) コンクリート舗装の経年変化（温度変化
季節変化の影響）を主とした測定結果

表 1 - 1

路面のすべりまさつ係数測定値

測定場所 国道 17 号線三国峠東京側

道路研究室

測定月日 S 39. 6. 19

測定条件 コンクリート舗装の測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート路面 タテすべり	30	0.56	0.45	0.51						
	40	0.54	0.45	0.50		0.34	0.34			
	45				0.54	0.39	0.47			
同 上 ヨコすべり		横すべり 20°			横すべり 20°					
	30	0.59	0.58	0.59						
	40	0.60	0.57	0.59		0.51	0.51			
	45				0.61	0.51	0.56			

表 1 - 2

路面のすべりまさつ係数測定値

測定場所 上越国道 17 号線小出地区

道路研究室

測定月日 S 40. 7. 21 小雨

測定条件 コンクリート舗装の比較的新しいものの測定

試験車 大型道路試験車

(S 39. 9. 10 舗設)

主要結果 速度変化による係数変化がよく表われている

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	10				0.72	0.72	0.72			
	40				0.55	0.60	0.58	22.0	25.0	23.5
	60				0.52	0.51	0.52		~	~
	80				0.45	0.48	0.47		23.5	28.5

表 1 - 3

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道 17 号線 三国峠 (東京側) 測定月日 S 40. 7. 22 霧

測定条件 コンクリート舗装の測定

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	30		0.77					20.0	20.8	33.1
	50		0.63							(一部 65.0)

表 1 - 4

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 1. 13

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	15				1.0	1.07	1.04	9.5	13.5	左 15.0 右 12.0
	40				0.86	0.88	0.87			
	60				0.68	0.63	0.66	6.0	10.0	11.0
同上、加速度計 による測定 (ウイリスソープ グリップタイヤ)	15						0.85			
	40						0.81			
	60						0.77			

表1—5

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 1. 14

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	15	1.01	1.14	1.08				7.0	8.0	
	40	0.93	1.01	0.97				終了後		左 50.0
	60	0.91	0.97	0.94				5.2	5.8	右 42.0
同上、加速度計 による測定 (ウリスジープ) グリップタイヤ	15			0.89						
	40			0.83						
	60			0.81						

表1—6

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 3. 9

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための常時測定
(タイヤ種別、アスファルト舗装追加)
(タイヤ種別の差は表われていない。)

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 ブリジストンタイヤ (左車輪)	20	0.84		0.84				試験前 10.0	12.0	12.0
	40	0.87		0.87						
	60	0.85		0.85						
同上 ヨコハマタイヤ (右車輪)	20		0.84	0.84				10.0	12.0	10.0
	40		0.98	0.98						
	60		0.92	0.92						
アスファルト舗装 ブリジストンタイヤ (左車輪)	20	0.91		0.91				試験終了時 11.0	15.0	58.3
	40	0.84		0.84						
	60	0.81		0.81						
ヨコハマタイヤ (右車輪)	20		0.87	0.87				11.0	17.5	41.0 (最大92.0)
	40		0.91	0.91						
	60		0.78	0.78						

表1—7

路面のすべりまっさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 4 0. 5. 8

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

(タイヤ種別、アスファルト舗装を追加した)

(左右の差はタイヤ種別のみが原因か、左右測定の差が不明)

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装 ブリジストンタイヤ (左車輪)	2 0	0.94		0.94				22.0	23.0	24.0
	4 0	0.91		0.91				22.0	23.0	33.8
	6 0	0.76		0.76				22.0	23.0	43.5
同 上 ヨコハマタイヤ (右車輪)	2 0		0.69	0.69				22.0	23.0	23.0
	4 0		0.65	0.65				22.0	23.0	30.3
	6 0		0.52	0.52				22.0	23.0	37.5
アスファルト 舗装 (アスコン アス ファルト Ⅹ) ブリジストンタイヤ (左車輪)	2 0	0.77		0.77				(22.0)	(25.0)	(45.0)
	4 0	0.86		0.86				(22.5)	(28.0)	(55.0)
	6 0	0.77		0.77				23.0	31.0	66.0
同 上 ヨコハマタイヤ (右車輪)	2 0		0.70	0.70				(22.0)	(25.0)	(40.0)
	4 0		0.68	0.68				(22.5)	(28.0)	(45.0)
	6 0		0.62	0.62				23.0	31.0	51.0

表1—8

路面のすべりまっさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 4 0. 7. 6

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度 ℃		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート	2 0	0.63	0.61	0.62	0.67		0.67	29.0	33.0	40.0
	4 0	0.64	0.59	0.61	0.57		0.57			
	6 0	0.68	0.60	0.64	0.43		0.43			

表1—9

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 7. 27

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	10			0.78			0.78	31	乾燥 41.0	乾燥 35.0 ~61.0
	30			0.74			0.59			
	50			0.72			0.52		湿潤 40.0	湿潤 41.0
	60			0.67			0.51		~34.0	

表1—10

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 9. 27

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート	20	0.93	0.90	0.92				25.5	31.2	30.0 ~ 45.0
	40	0.89	0.86	0.88						
	60	0.87	0.85	0.86						

表1—11

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 11. 1

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

タイヤ温度が変化した場合のまさつ抵抗の変化を見るもの。

主要結果 タイヤ温度とまさつ係数の明瞭な関係はえられない。

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 タイヤ内圧 33.4 ポンド 平 均	50	0.71 0.75 0.68 0.75 0.68 0.71						23.0	29.0	92.0
平 均	50	0.73 0.70 0.77 0.73 0.72 0.73						23.0	29.0	94.0
平 均	50	0.82 0.82 0.72 0.77 0.68 0.76						23.0	29.0	80.0
平 均	50	0.75 0.68 0.84 0.82 0.75 0.77						23.0	29.0	97.3
平 均	50	0.77 0.89 0.79 0.72 0.66 0.77						23.0	29.0	69.0

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
平 均	50	0.82 0.72 0.72 0.62 0.70 0.72						24.0	29.0	74.5
(タイヤ 圧 29.8ポンド) 平 均	50	0.85 0.80 0.71 0.80 0.69 0.77						24.0	29.0	59.0
平 均	50	0.89 0.87 0.67 0.71 0.71 0.77						24.0	29.0	68.5
平 均	50	0.89 0.85 0.71 0.62 0.76 0.77						24.0	29.0	49.5
(タイヤ 圧 28.0ポンド) 平 均	50	0.80 0.89 0.87 0.87 0.69 0.82						22.0	28.7	52.5
(タイヤ 圧 27.0ポンド) 平 均	50	0.85 0.73 0.76 0.73 0.69 0.75						23.0	27.8	30.0
タイヤ交換 (タイヤ 圧 41ポンド)	50	0.80 0.80 0.78						24.0	27.8	114.0

別表 - 8

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
平 均	50	0.80 0.71 0.78								
平 均	50	0.80 0.89 0.85 0.89 0.87 0.86						24.0	27.8	118.0
平 均	50	0.73 0.76 0.78 0.76 0.82 0.77						24.0	27.8	87.0
平 均	50	0.76 0.73 0.73 0.82 0.67 0.74						24.0	27.8	83.2
平 均	50	0.70 0.79 0.75 0.64 0.72						24.0	27.8	68.0
タイヤ圧 30ポンド (常温時タイヤ圧) 26ポンド 平 均	50	0.66 0.79 0.66 0.73 0.71						24.0	27.8	81.0

別表 - 9

表1—12

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 11. 17

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 セドリックスターダート

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート	20			0.86						
				0.84						
				0.84						
				0.78						
	40			0.75				15.0	18.8	20.0
				0.75						
				0.72						
				0.70						
	60									

表1—13

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 11. 18

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

タイヤ温度が変化した場合のまさつ抵抗の
変化を見るもの。主要結果 タイヤ温度とまさつ係数の明瞭な関係はえ
られない。

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 上り方向 (タイヤ圧 42ポンド)	50	0.81								
		0.84								
		0.81								
		0.81						16.0	18.0	120.0
		0.79								
		0.81								
平 均										

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
(タイヤ 圧 42ポンド) 平 均	50	0.86 0.81 0.79 0.81 0.77 0.81						16.0	18.0	110.0
平 均	50	0.86 0.79 0.79 0.84 0.79 0.81						16.0	18.0	100.0
(タイヤ 圧 32ポンド) 平 均	50	0.84 0.75 0.69 0.79 0.84 0.78						16.0	18.0	98.0
平 均	50	0.77 0.75 0.79 0.81 0.71 0.77						16.0	18.0	89.0
(タイヤ 圧 29.5ポンド) 平 均	50	0.71 0.84 0.77 0.75 0.71 0.76						16.0	18.0	83.0
平 均	50	0.75 0.73 0.75 0.69 0.77 0.74						16.0	18.0	80.0
(タイヤ 圧 27ポンド) 平 均	50	0.77 0.69 0.77						16.0	18.0	75.0

別表-11

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
平 均	50	0.79 0.75 0.75								
平 均	50	0.72 0.71 0.75 0.75 0.64 0.71						15.0	17.8	60.0
(タイヤ圧 27.0ポンド) 平 均	50	0.75 0.77 0.69 0.71 0.66 0.72						15.0	17.8	84.0
平 均	50	0.75 0.66 0.64 0.60 0.66						15.0	17.8	50.0
平 均	50	0.64 0.84 0.64 0.73 0.66 0.70						15.0	18.0	58.0
平 均	50	0.84 0.88 0.60 0.75 0.79 0.79						16.0	18.0	40.0
(タイヤ圧 25ポンド) 平 均	50	0.79 0.90 0.69 0.75 0.75 0.78						16.0	18.0	73.0

別表 - 12

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
(タイヤ圧 23ポンド)	50	0.86						13.8	15.0	29.0
		0.88								
		0.86								
		0.79								
		0.85								
平 均										
	50	0.88						13.8	15.0	68.0
		0.73								
		0.81								
		0.69								
		0.77								
		0.78								
平 均										

表1-14

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 40. 11. 24

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るため、
常時測定
タイヤ温度が変化した場合のまさつ抵抗の
変化を見るもの。

主要結果 タイヤ温度とまさつ係数は明瞭な関係がえ
られない。

路面舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 (タイヤ圧 42ポンド)	50	0.90	0.98					17.8	22.0	左 101.0 右 18.5
		0.87	0.94							
		0.88	0.94							
		0.84	0.82							
		0.87	0.82							
		0.87	0.90							
左車輪加熱 平 均										
	50	0.90						(18.0)	(22.0)	左 88.0 右 20.0
		0.87								
		0.87								
		0.80								
		0.85								
平 均										
(タイヤ圧 28.5ポンド)	50	0.87	1.02					(18.0)	(22.0)	左 76.0 右 29.0
		0.80	0.94							
		0.82	0.90							
		0.71								
平 均										

別表-13

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
平 均	5 0	0.78 0.78	0.96							
平 均	5 0	0.83 0.78 0.83 0.76 0.78 0.78						18.5	21.8	左 67.0 右 32.0
平 均	5 0	0.83 0.83 0.78 0.73 0.80 0.79	0.91 0.91 0.89 0.90							左 52.0 右 28.0
(タイヤ圧 26ポンド) 平 均	5 0	0.84 0.83 0.81 0.78 0.76 0.80								左 49.0 右 31.0
平 均	5 0	0.77 0.84 0.82 0.71 0.80 0.79	0.84 0.88 0.77 0.80					18.5	20.0	左 40.0
平 均	5 0	0.80 0.67 0.78 0.82 0.74 0.76						18.0	19.5	右 30.0

表1—15

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 1. 18

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	20	0.883	0.954	0.919				6.0	7.0	7.0~25.0
					0.868	0.875	0.871	5.0	7.0	10.0
		0.800	0.777	0.788				6.0	6.0	7.0~25.0
	40				0.800	0.646	0.723	5.0	7.0	10.0
		0.796	0.777	0.786				6.0	7.0	7.0~25.0
					0.600	0.576	0.588	5.0	7.0	10.0

表1—16

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 3. 2

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 (左側車線)	20	0.785	0.871	0.828						
					0.785	0.834	0.810			
		0.618	0.745	0.682						
	40				0.562	0.633	0.578			
		0.667	0.767	0.717						
					0.513	0.559	0.536			
コンクリート舗装 (右側車線) (表面が土でよ ごれているの で左側も測定 した。 標準車線)	20	0.713	0.821	0.767						
					0.795	0.916	0.855			
		0.690	0.755	0.722						
	40				0.631	0.725	0.678			
		0.690	0.784	0.737						
					0.520	0.549	0.534			

表1—17

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 3. 28 曇

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	20	0.757	0.785	0.771				9.0	10.5	40.0
					0.768	0.840	0.804	10.0	10.5	13.0
	40	0.719	0.785	0.752				9.0	10.5	40.0
					0.622	0.636	0.629	10.0	10.5	13.0
	60	0.703	0.725	0.714				9.0	10.5	40.0
					0.605	0.573	0.589	10.0	10.5	13.0

表1—18

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 5. 2 (雨降り)

3日(乾燥)

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗装	20	0.757	0.731	0.744				20.0	24.0	22.0~52.0
					0.757	0.768	0.762	20.0	22.0	26.0
	40	0.676	0.683	0.679				20.0	23.0	22.0~52.0
					0.514	0.580	0.547	20.0	22.0	26.0
	60	0.681	0.725	0.703				20.0	23.0	22.0~52.0
					0.486	0.453	0.469	20.0	22.0	26.0

表1—19

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 5. 25

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

雨降り（散水せず）

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥（タテ）			湿潤（タテ）			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装	20				0.744	0.781	0.762			
	40				0.701	0.718	0.709	16.0	21.0 ～ 21.5	左右共 18.5～20.0
	60				0.647	0.635	0.641			

表1—20

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 6. 4

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥（タテ）			湿潤（タテ）			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装	20	0.83	0.86	0.845						
	40	0.77	0.80	0.785				18.0	20.0	18.5
	60	0.78	0.77	0.775						

表1—21

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 5 (夜)

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定、特に夜間(午後11時)に測定した。

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート	20	0.902	0.714	0.808				17.2	20.8	
	40	0.839	0.707	0.773						
	60	0.799	0.694	0.746						
	20				0.787	0.773	0.780	17.6	21.0	
	40				0.597	0.663	0.630			
	60				0.521	0.469	0.495			

表1—22

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 6

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート 舗 装	2 0	0.857	0.857	0.857				20.0	22.0 ~25.3	
	4 0	0.839	0.843	0.841						
	6 0	0.827	0.811	0.819						
	2 0				0.794	0.789	0.791	21.5	25.0	
	4 0				0.642	0.626	0.634			
	6 0				0.496	0.461	0.478			

表1—23

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 18

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装	20	0.882	0.825	0.854						
		0.882	0.858	0.870						
		0.914	0.858	0.886						
	平均			0.870						
	40	0.756	0.726	0.741				28.0	34.0	
		0.725	0.759	0.742					~	
		0.788	0.715	0.751					37.0	
	平均			0.745						
	60	0.819	0.792	0.806						
		0.693	0.715	0.704						
		0.725	0.627	0.676						
	平均			0.728						
	20				0.882	0.792	0.837			
					0.882	0.792	0.837			
					0.851	0.825	0.838			
	平均						0.837			
	40				0.599	0.594	0.596			
					0.567	0.627	0.597	28.2	33.0	
					0.599	0.528	0.563			
	平均						0.586			
	60				0.504	0.429	0.467			
					0.441	0.363	0.402			
					0.536	0.462	0.500			
	平均						0.457			

表1—24

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 21(午前10~12時)

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装	20	0.829	0.803	0.816						
		0.859	0.835	0.847						
		0.859	0.803	0.831						
	平均			0.831						
		0.768	0.899	0.833						
		0.829	0.706	0.767				27.9	39.7	60.0~65.0
	40	0.737	0.770	0.753						
				0.784						
		0.798	0.803	0.801						
	平均	0.798	0.706	0.752						
		0.675	0.835	0.755						
				0.769						
	20				0.798	0.803	0.801			
					0.768	0.770	0.769			
					0.768	0.770	0.769			
	平均						0.780			
					0.737	0.609	0.673	28.5	36.8	36.0~35.0
	40				0.675	0.578	0.626			
					0.645	0.546	0.595			
							0.631			
	平均				0.553	0.353	0.453			
					0.553	0.417	0.485			
					0.553	0.449	0.501			
	60						0.486			
	平均									

表1—25

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 21(午後1～3時)

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート	20	0.859	0.786	0.822						
		0.859	0.755	0.807						
		0.859	0.818	0.838						
	平均			0.822						
	40	0.798	0.755	0.776				29.0	40.9	
		0.706	0.818	0.762						
		0.798	0.723	0.760						
	平均			0.766						
	60	0.829	0.692	0.760						
		0.675	0.629	0.652						
		0.737	0.692	0.714						
	平均			0.708						
	20				0.737	0.692	0.714			
					0.706	0.692	0.699			
					0.737	0.692	0.714			
	平均						0.709	29.5	38.0	
	40				0.645	0.598	0.621			
					0.553	0.566	0.559			
					0.614	0.535	0.574			
	平均						0.584			
	60				0.491	0.346	0.418			
					0.491	0.409	0.450			
					0.491	0.440	0.465			
	平均						0.444			

表1—26

路面のすべりまさつ係数測定値

測定場所 17号線二居トンネル(図面No.6) 測定月日 S 41. 6. 8 晴

測定条件

試験車 大型道路試験車

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 セメント320 $\frac{kg}{m^3}$ S 37 年施工	20 $\frac{km}{h}$				0.553	0.611				
					0.663	0.590				
					0.675	0.708				
	平 均				0.630	0.636	0.633			
	40 $\frac{km}{h}$				0.522	0.521		12.7	12.0	
					0.571	0.486				
					0.522	0.486				
	平 均				0.538	0.498	0.518			
	60 $\frac{km}{h}$				0.399	0.521				
					0.493	0.486				
					0.461	0.451				
	平 均				0.451	0.486	0.469			

表1—27

路面のすべりまさつ係数測定値

測定場所 17号線上越虫野(図面No15)

測定月日 S41. 6. 9 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主 要 結 果

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 S38年施工 セメント 320 $\frac{kg}{m^3}$	20 $\frac{km}{h}$	0.860	0.902							
		0.798	0.972							
		0.810	0.868							
	平均	0.823	0.914	0.868				22.0	24.0	
	40 $\frac{km}{h}$	0.872	0.868							
		0.798	0.833							
		0.737	0.888							
	平均	0.802	0.863	0.833						
	60 $\frac{km}{h}$	0.829	0.715							
		0.798	0.702							
		0.675	0.833							
	平均	0.767	0.750	0.759						
	20 $\frac{km}{h}$				0.725	0.694				
					0.632	0.694				
					0.558	0.694				
	平均				0.638	0.694	0.665	20.0	22.0	
	40 $\frac{km}{h}$				0.479	0.416				
					0.399	0.486				
					0.448	0.472				
	平均				0.442	0.458	0.450			
	60 $\frac{km}{h}$				0.479	0.403				
					0.368	0.437				
					0.307	0.382				
	平均				0.385	0.407	0.396			

表 1—28

路面のすべりまさつ係数測定値

測定場所 17号線上越小出地区(図面No.16) 測定月日 S 41 6 9 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 S 39年施工	20 km/h	0.829	0.902							
		0.737	0.902							
		0.829	0.902							
	平均	0.798	0.902	0.850				21.5	23.5	
セメント320 mm	40 km/h	0.645	0.888							
		0.829	0.798							
		0.645	0.868							
	平均	0.706	0.851	0.779						
	60 km/h	0.583	0.798							
		0.798	0.833							
		0.614	0.868							
	平均	0.665	0.833	0.749						
	20 km/h				0.675	0.729				
					0.645	0.694				
					0.614	0.694				
	平均				0.645	0.706	0.675	21.5	22.8	
	40 km/h				0.430	0.500				
					0.430	0.521				
					0.522	0.521				
	平均				0.461	0.514	0.487			
	60 km/h				0.430	0.486				
					0.430	0.403				
	平均				0.430	0.445	0.438			

表1-29

路面のすべりまさつ係数測定値

測定場所 17号線上越堀之内町(図面No17) 測定月日 S 41. 6. 9 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 S 40年施工 セメント 320 Kg/m ³	20km/h	0.798	0.888							
		0.786	0.833							
		0.829	0.833							
	平均	0.804	0.851	0.828				21.5	24.0	
	40km/h	0.860	0.798							
		0.768	0.868							
		0.737	0.833							
	平均	0.788	0.833	0.811						
	60km/h	0.798	0.833							
		0.675	0.833							
		0.645	0.694							
	平均	0.706	0.787	0.746						
	20km/h				0.706	0.680				
					0.614	0.590				
					0.645	0.555				
	平均				0.655	0.608	0.632	22.0	22.4	
	40km/h				0.565	0.541				
					0.583	0.416				
					0.479	0.472				
	平均				0.542	0.476	0.509			
	60km/h				0.451	0.451				
					0.399	0.430				
					0.448	0.361				
	平均				0.436	0.414	0.425			

(2) アスファルト舗装の経年変化 (温度変化・季節変化の影響) を主とした測定結果

表2—1

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 名神高速自動車道京都南 — 大津 測定月日 S 38. 5.

測定条件 アスファルト舗装の測定、開通直前の状態

試験車 大型道路試験車

タイヤ圧 27ポンド

輪 重 320 Kg

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		温 度		
		タ テ	ヨ コ	タ テ	ヨ コ	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装	40	0.50	0.57	0.49	0.33			
	60	0.55	0.60	0.45	0.31			
	80	0.54	0.45	—	—			

表2—2

道路研究室

測定場所 名神高速道路、関ヶ原

測定月日 S 39. 2. 6

測定条件 アスファルト舗装の測定（供用開始前）

試験車 大型道路試験車

タイヤ圧 26ポンド

タイヤ荷重 290 Kg

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥（タテ）			湿潤（タテ）			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装	20			1.10						
	45			0.94						
	50			1.10						
	55						0.73	+3.0		
	60			1.12			0.91	～		
	65						0.89	+4.0		
	70						0.91			
	120			1.02						

表 2—3

道路研究室

測定場所 名神高速自動車道京都南 ～ 大垣

測定月日 S 39. 8. 13 晴

測定条件 アスファルト舗装の測定

試験車 大型道路試験車

タイヤ圧 26ポンド

輪 重 370 Kg

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 大垣 安心町～揖斐川 供用前少しよごれた 面	80	上り		0.54						
関ヶ原 養老サービスエリア 仮供用中骨材砂岩	80	下り		0.50						
関ヶ原 インター 供用中、骨材砂岩	80	下り		0.53						
彦 根 芹川～多賀サービス エリア 骨材石灰岩	80	下り		0.52						
八日市～栗東 菩提寺パーキングエリ ア 骨材砂岩	80	下り		0.54						
山科バスストップ 最初の舗装、砂岩	80	下り		0.50						
山科～深草 砂岩	80	下り		0.51						

表 2—4

道路研究室

測定場所 首都高速道路

測定月日 S 39. 7. 30

測定条件 首都高速道路の経年変化を知るための測定

試験車 大型道路試験車

主要結果 左右の差はあまりない。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
1号線平和島付近 オーブングレイド	40	0.48	0.48	0.48	0.50	0.43	0.47			
	60	0.50	0.49	0.50	0.43	0.42	0.43			
同 上 密粒アスコン	40	0.54	0.51	0.53	0.50	0.45	0.48			
	60	0.45	0.40	0.43	0.49	0.48	0.49			
4号線代官町付近 オーブングレイド	40	0.52	0.50	0.51	0.47	0.48	0.48			
	60	0.51	0.55	0.53	0.49	0.48	0.49			
同 上 密粒アスコン	40	0.48	0.48	0.48	0.49	0.53	0.51			
	60	0.49	0.52	0.51	0.40	0.42	0.41			
4号線千代田トンネル コンクリート舗装	40				0.33	0.32	0.33			
	60				0.31	0.28	0.30			
4号線赤坂トンネル サルビアシム舗装	40			0.42						
1号線中央管理所前 アスファルトすべり 止工	60			0.56						

表2—5

道路研究室

測定場所 首都高速道路

測定月日 S 39. 9. 15

測定条件 首都高速道路の経年変化を知るための
測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
4号線千代田トンネル コンクリート舗装	60						0.50			
4号線赤坂トンネル サルビアシム舗装	60			0.50						

表2—6

道路研究室

測定場所 首都高速道路

測定月日 S 40. 4. 6~7

測定条件 首都高速道路の経年変化を知るための
測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
1号線平和島付近 オーブングレイド	30			0.88				17.0	21.0	18.0~28.0
	30						0.865	17.0	25.0	18.0~22.0
	50			0.92				17.0	21.0	18.0~28.0
	50						0.75	17.0	25.0	18.0~22.0
同 上 密粒アスコン	30			0.90				18.0	27.0	18.0~28.0
	30						0.94	16.0	24.0	18.0~22.0
	50			0.95				18.0	25.0	18.0~28.0
	50						0.77	16.0	24.0	18.0~22.0
4号線代官町付近 オーブングレイド	30			0.84				17.0	20.0	
	30						0.76	17.0	22.0	

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
	50			0.84				17.0	20.0	
	50						0.64	17.0	22.0	
同 上 密粒アスコン	30			0.80				17.0	20.0	40.0
	30						1.00	18.0	21.0	22.0
	50			0.89				17.0	20.0	40.0
	50						0.81	18.0	21.0	22.0
4号線千代田トンネル コンクリート舗装	30			0.84				12.0	13.0	50.0
	30						0.70	15.0	13.0	22.0
	50			0.95				12.0	13.0	50.0
	50						0.64	15.0	13.0	22.0
4号線赤坂トンネル サルビアシム舗装	30			0.81				13.0	14.0	31.0
	30						0.46	16.0	12.0	31.0
	50			0.85				13.0	14.0	31.0
	50						0.54	16.0	12.0	31.0
1号線中央管理所前 アスファルトすべり止工	30			0.81				17.0	26.0	
	50			0.87				17.0	26.0	

表2-7

道路研究室

測定場所 首都高速道路

測定月日 S40. 8. 18 ~ 19

測定条件 首都高速道路の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

測定

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
グース可 1号線下り No1137 ~No1151	50	0.83	0.77	0.80	0.42	0.35	0.39	32.0	38.2	35.3
								33.5	38.0	36.0
密粒アス コン 1号線下り No1446~ No1454	50	0.88	0.80	0.84	0.42	0.32	0.37	33.0	44.0	
								32.5	40.0	

別表-31

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
オーブングレイド 1号線下り No1465~No1471	50	0.84	0.60	0.72	0.52	0.46	0.49	32.5 30.8	40.5 36.5	
オーブングレイド 1号線上り No1465~No1474	50	0.82	0.76	0.79	0.74	0.46	0.60	31.0 32.5	42.0 37.0	↑ 中 間 ↓
密粒アスコン 1号線上り No1446~No1454	50	0.66	0.64	0.65	0.65	0.40	0.53	31.5 32.0	44.0 38.2	
グース良好 1号線上り No1234~1252	50	0.88	0.65	0.77	0.44	0.29	0.37	31.0 32.0	44.0 37.0	
すべり止め舗装 1号線上り管理所前 No1001~No1004	50	0.83	0.72	0.78	0.61	0.39	0.50	34.0 33.2	46.0 35.3	
コンクリート 千代田トンネル下り 入口	50	0.87	0.77	0.82	0.44	0.33	0.39	30.5 31.5	30.1 27.7	42.2 ↓ 41.8 33.3 41.8
コンクリート 千代田トンネル下り 分岐点	50	0.78	0.59	0.69	0.35	0.28	0.32	30.8 25.8	28.5 25.9	
コンクリート 平河町ルーパー下り	50	0.74	0.73	0.74	0.51	0.37	0.44	29.1	28.2	
サルビアシム 赤坂トンネル下り	50	0.85	0.83	0.84	0.34	0.29	0.32	31.9 31.5	31.0 30.7	↑ 中 間 ↓
オーブングレイド 赤坂トンネル新宿側 下りNo4377~No4369	50	0.82	0.66	0.74	0.57	0.43	0.50	33.2 33.2	44.5 38.1	
サルビアシム 赤坂トンネル上り	50	0.77	0.74	0.76	0.43	0.37	0.40	32.2 31.2	31.5 30.5	
コンクリート 千代田トンネル入口 上り	50	0.65	0.65	0.65	0.28	0.22	0.25	31.2 31.5	30.0 27.8	
コンクリート 千代田トンネル上り 霞ヶ関分岐点	50	0.66	0.63	0.65	0.24	0.20	0.22	31.0 29.8	29.8 27.3	
コンクリート 千代田トンネル上り 霞ヶ関よりとの合流点	50	0.59	0.56	0.58	0.22	0.18	0.20	— —	— —	
コンクリート 千代田トンネル出口 上り	50	0.66	0.58	0.62	0.47	0.36	0.42	30.3 29.2	29.0 28.5	62.5 34.1

別表-32

表2—8

道路研究室

測定場所 国道17号線埼玉県岡部町

測定月日 S 40. 5. 11

試験車 大型道路試験車

測定条件 アスファルト舗装の種類別係数をうるため
39年度試験舗装

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
No 1 T 23 AS 8.15 碎石 F 8.00	30	1.04	1.06	1.05	0.87	0.86	0.86	11.0~ 14.0	乾燥	乾燥
No 2 40 60 AS 8.45 碎石 F 8.00	"	1.09	1.03	1.06	0.87	0.89	0.88		11.0~	13.5~
No 3 ポリ3% AS 8.45 碎石 F 8.00	"	1.01	1.02	1.02	0.80	0.83	0.81		13.0	18.0
No 4 フム 2.5% AS 8.45 碎石 F 8.00	"	1.04	1.04	1.04	0.82	0.86	0.84			
No 5 フム 5.0% AS 8.45 碎石 F 8.00	"	1.02	1.03	1.03	0.81	0.91	0.86	湿潤 10.5~ 11.5	湿潤	湿潤
No 6 フム 3% AS 8.45 碎石 F 8.00	"	1.04	1.00	1.02	0.78	0.89	0.83		10.5~	12.5~
No 7 D 24 AS 5.00 碎石 F 7.50	"	1.02	1.04	1.03	0.80	0.87	0.84		11.5	18.0
No 8 T 21 AS 8.45 碎石 F 8.00	"	1.00	0.98	0.99	0.78	0.87	0.83			
No 9 D 22 AS 5.95 碎石 F 7.50	"	1.01	0.94	0.97	0.76	0.81	0.79			
No 10 T 24 AS 8.30 碎石 F 10.00	"	0.98	1.00	0.99	0.76	0.86	0.81			
No 11 D 21 AS 5.55 碎石 F 6.00	"	1.05	1.01	1.03	0.78	0.86	0.82			
No 12 T 22 AS 7.85 碎石 F 10.00	"	0.99	1.00	1.00	0.73	0.88	0.80			
No 13 D 23 AS 5.90 碎石 F 6.00	"	0.96	0.95	0.95	0.76	0.84	0.80			
No 14 T 23 AS 8.15 碎石 F 8.00	"	0.96	1.03	1.00	0.72	0.84	0.78			
No 15 T 12 AS 8.75 玉砕 F 10.00	"	0.97	1.04	1.00	0.72	0.84	0.78			
No 16 T 11 AS 8.45 玉砕 F 8.00	"	1.00	1.04	1.02	0.76	0.81	0.78			
No 17 D 13 AS 5.85 玉砕 F 6.00	"	1.00	1.01	1.00	0.77	0.87	0.82			
No 18 D 11 AS 6.75 玉砕 F 6.00	"	0.99	1.02	1.00	0.78	0.86	0.82			
No 19 T 14 AS 7.95 玉砕 F 10.00	"	1.02	0.98	1.00	0.80	0.85	0.82			
No 20 一般 AS 6.50 玉砕	"	0.99	0.89	0.94	0.83	0.87	0.85			
No 21 D 12 AS 6.35 玉砕 F 7.50	"	0.94	0.97	0.96	0.81	0.86	0.83			
No 22 D 14 AS 6.55 玉砕 F 7.50	"	0.99	1.07	1.03	0.78	1.03	0.90			
No 23 D 14 AS 6.55 玉砕 F 7.50	"	0.97	0.95	0.96	0.75	0.85	0.80			
No 24 T 13 AS 10.15 玉砕 F 8.00	"	0.91	0.95	0.93	0.63	0.80	0.71			

但

AS はアスファルト混入%

F はファイラー混入%

T はトベカ

D は密粒アスコン

碎石 は安山岩碎石

玉砕 は川砂利碎石

表2-9

道路研究室

測定場所 国道17号線埼玉県岡部町

測定月日 S 40. 8. 25 ~ 26

(夜間測定)

測定条件 アスファルト舗装の種類別係数をうるため。

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト試験 舗装	30									
Na 1		0.88	0.81	0.85				測定開始時		
タイヤ圧30Kg 2		0.77	0.83	0.80				25.0	26.0	25.2
3		0.85	0.84	0.85						
4		0.82	0.73	0.78				測定終了時		
5		0.82	0.76	0.79				24.0	25.8	60.6
6		0.89	0.79	0.84						
7		0.77	0.72	0.75						
8		0.70	0.82	0.76						
9		0.71	0.82	0.77						
10		0.74	0.71	0.73						
11		0.74	0.64	0.69						
12		0.69	0.60	0.65						
13		0.71	0.62	0.67						
14		0.65	0.83	0.74						
15		0.75	0.65	0.70						
16		0.69	0.73	0.71						
17		0.76	0.60	0.68						
18		0.66	0.62	0.64						
19		0.66	0.61	0.64						
20		0.69	0.64	0.67						
21		0.75	0.60	0.68						
22		0.62	0.62	0.62						
23		0.64	0.60	0.62						
24		0.64	0.57	0.61						

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
№ 1	30				0.59	0.52	0.56	測定開始時		
2					0.63	0.46	0.55	24.0	24.0	50.0
3					0.59	0.49	0.54			
4					0.61	0.48	0.55	測定終了時		
5					0.61	0.51	0.56	23.7	23.5	29.8
6					0.61	0.48	0.55			
7					0.59	0.53	0.56			
8					0.59	0.53	0.56			
9					0.55	0.44	0.50			
10					0.56	0.48	0.52			
11					0.59	0.50	0.55			
12					0.53	0.46	0.50			
13					0.52	0.47	0.50			
14					0.51	0.45	0.48			
15					0.48	0.41	0.45			
16					0.59	0.47	0.53			
17					0.55	0.50	0.53			
18					0.52	0.50	0.51			
19					0.59	0.53	0.56			
20					0.54	0.53	0.54			
21					0.55	0.48	0.52			
22					0.60	0.53	0.57			
23					0.58	0.47	0.53			
24					0.42	0.31	0.57			

表2-10

道路研究室

測定場所 国道17号線埼玉県岡部町

測定月日 S 40. 8. 25 ~ 26

測定条件 大型道路試験車との比較

試験車 ポータブルスキッドテスター

主要結果 よく比例している。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト試験 舗装										
	No 1						50.6	36.0	40.0 ~	
	2						56.0		45.0	
	3						53.0			
	4						55.0			
	5						55.0			
	6						54.0			
	7						55.0			
	8						55.0			
	9						48.0			
	10						57.0			
	11						49.0			
	12						55.0			
	13						48.0			
	14						49.0			
	15						51.0			
	16						54.0			
	17						52.0			
	18						52.0			
	19						55.0			
	20						49.0			
	21						49.0			
	22						51.0			
	23						51.0			
	24						—			

道路研究室

測定月日 S 41. 4. 4

測定条件 アスファルト舗装の種類別係数をうるため、

アスファルト舗装の車道中央と路側部のすべり抵抗差、降雨中の測定である。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト試験 舗装										
No. 1	30				0.72	0.72	0.72	測定開始時		
2					0.73	0.70	0.71	8.0	11.0	10.0
3					0.71	0.67	0.69			
4					0.72	0.67	0.69	測定終了時		
5					0.72	0.68	0.70	8.0	11.0	13.5
6					0.66	0.64	0.65			
7					0.69	0.64	0.66			
8					0.72	0.67	0.69			
9					0.69	0.64	0.66			
10					0.70	0.65	0.67			
11					0.63	0.59	0.61			
12					0.68	0.65	0.67			
13					0.64	0.62	0.63			
14					0.64	0.62	0.63			
15					0.67	0.67	0.67			
16					0.69	0.68	0.68			
17					0.67	0.67	0.67			
18					0.65	0.67	0.66			
19					0.70	0.70	0.70			
20					0.66	0.68	0.67			
21					0.66	0.64	0.65			
22					0.66	0.65	0.65			
23					0.66	0.68	0.67			
24					0.66	0.64	0.65			

道路研究室

測定月日 S 41. 4. 5

測定条件 アスファルト舗装の種類別係数をうるため

アスファルト舗装の車道中央よりと路側部のすべり抵抗差

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト試験 舗装										
No 1	30	0.81	0.77	0.79				測定開始時		
2		0.84	0.74	0.79				9.0	16.5	9.0
3		0.81	0.76	0.79						
4		0.80	0.75	0.77				測定終了時		
5		0.81	0.73	0.77				12.0	21.0	37.0
6		0.80	0.74	0.77						
7		0.80	0.77	0.78						
8		0.77	0.72	0.74						
9		0.77	0.76	0.76						
10		0.79	0.76	0.77						
11		0.78	0.74	0.76						
12		0.76	0.74	0.75						
13		0.77	0.73	0.75						
14		0.76	0.72	0.74						
15		0.75	0.70	0.72						
16		0.79	0.74	0.76						
17		0.77	0.73	0.75						
18		0.77	0.73	0.75						
19		0.79	0.75	0.77						
20		0.76	0.75	0.75						
21		0.72	0.71	0.71						
22		0.75	0.75	0.75						
23		0.78	0.74	0.76						
24		0.73	0.67	0.70						

表2—13

道路研究室

測定場所 千葉市宮野木試験舗装

測定月日 S 40. 11. 25 雨

測定条件 各種簡易舗装のすべりまさつ係数値測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
A E 2 P (B) I 同 上 II	20				0.83	0.93	0.88			
	40				0.66	0.66	0.66	13.0	13.0	測定前
	50				0.39	0.70	0.55			12.5
	20				0.84	0.96	0.90			
	40				0.70	0.68	0.69			測定後
	50				0.67	0.66	0.67			21.0
C A 1 P (A) I 同 上 II	20				0.73	0.73	0.73			
	40				0.62	0.55	0.59			
	50				0.50	0.66	0.58			
	20				0.78	0.80	0.79			
	40				0.63	0.65	0.64			
	50				0.54	0.55	0.55			
C A 1 M (A) I 同 上 II	20				0.72	0.70	0.71			
	40				0.51	0.42	0.47			
	50				0.40	0.53	0.47			
	20				0.73	0.71	0.72			
	40				0.57	0.54	0.56			
	50				0.54	0.55	0.55			
S T M (B) I 同 上 II	20				0.68	0.73	0.71			
	40				0.43	0.48	0.46			
	50				0.44	0.44	0.44			
	20				0.70	0.76	0.73			
	40				0.55	0.56	0.56			

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
	50				0.52	0.40	0.46			
A E 1 M (A) I	20				0.70	0.79	0.75			
	40				0.52	0.61	0.57			
	50				0.54	0.48	0.51			
同 上 II	20				0.87	1.03	0.95			
	40				0.74	0.72	0.73			
	50				0.69	0.66	0.68			
S T M (A) I	20				0.77	0.79	0.78			
	40				0.58	0.64	0.61			
	50				0.50	0.55	0.53			
同 上 II	20				0.70	0.83	0.77			
	40				0.59	0.50	0.55			
	50				0.62	0.51	0.57			
A E 1 P (B) I	20				0.77	0.93	0.85			
	40				0.61	0.66	0.64			
	50				0.56	0.53	0.55			
同 上 II	20				0.80	0.84	0.82			
	40				0.61	0.70	0.66			
	50				0.54	0.64	0.59			
A E 2 P (A) I	20				0.77	0.81	0.79			
	40				0.58	0.56	0.57			
	50				0.56	0.51	0.54			
同 上 II	20				0.79	0.83	0.81			
	40				0.63	0.62	0.63			
	50				0.56	0.66	0.61			
C T M (B) I	20				0.72	0.79	0.76			
	40				0.62	0.54	0.58			
	50				0.58	0.42	0.50			

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
同 上 II	20				0.73	0.80	0.77			
	40				0.58	0.58	0.58			
	50				0.50	0.46	0.48			
STP(A) I	20				0.75	0.82	0.79			
	40				0.71	0.68	0.70			
	50				0.56	0.59	0.58			
同 上 II	20				0.77	0.77	0.77			
	40				0.64	0.68	0.66			
	50				0.56	0.62	0.59			
STP(B) I	20				0.85	0.95	0.90			
	40				0.73	0.81	0.77			
	50				0.66	0.59	0.63			
同 上 II	20				0.79	0.93	0.86			
	40				0.59	0.67	0.63			
	50				0.54	0.68	0.61			
AE2M(B) I	20				0.87	1.01	0.94			
	40				0.71	0.72	0.72			
	50				0.71	0.57	0.64			
同 上 II	20				0.84	0.93	0.89			
	40				0.67	0.66	0.67			
	50				0.58	0.66	0.62			
CA2P(A) I	20				0.80	0.83	0.82			
	40				0.56	0.52	0.54			
	50				0.52	0.51	0.52			
同 上 II	20				0.81	0.85	0.83			
	40				0.65	0.69	0.67			
	50				0.58	0.68	0.63			
AE1M(B) I	20				0.62	0.80	0.71			

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
同 上 II	40				0.39	0.49	0.44			
	50				0.39	0.33	0.36			
	20				0.61	0.54	0.58			
	40				0.43	0.37	0.40			
	50				0.37	0.34	0.36			
SAM(A) I	20				0.34	0.33	0.34			
	40				0.53	0.27	0.40			
	50				0.15	0.18	0.17			
同 上 II	20				0.38	0.33	0.36			
	40				0.28	0.24	0.26			
	50				0.17	0.22	0.20			
AE1P(A) I	20				0.76	0.68	0.72			
	40				0.62	0.53	0.58			
	50				0.58	0.51	0.55			
同 上 II	20				0.80	0.82	0.81			
	40				0.62	0.61	0.62			
	50				0.60	0.51	0.56			
CA2M(A) I	20				0.70	0.77	0.74			
	40				0.58	0.57	0.53			
	50				0.50	0.40	0.45			
同 上 II	20				0.73	0.79	0.76			
	40				0.67	0.67	0.67			
	50				0.56	0.57	0.57			
SAP(B) I	20				0.79	0.86	0.83			
	40				0.62	0.66	0.64			
	50				0.52	0.59	0.56			
同 上 II	20				0.78	0.84	0.81			
	40				0.56	0.66	0.61			
	50				0.50	0.51	0.51			

別表 - 42

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
SAM(B) I	20				0.85	1.02	0.94			
	40				0.69	0.69	0.69			
	50				0.62	0.62	0.62			
同 上 II	20				0.93	1.12	1.03			
	40				0.70	0.93	0.82			
	50				0.64	0.90	0.77			
SAP(A) I	20				0.80	0.84	0.82			
	40				0.67	0.66	0.67			
	50				0.62	0.46	0.54			
同 上 II	20				0.75	0.83	0.79			
	40				0.61	0.58	0.60			
	50				0.58	0.75	0.67			
CAP(B) I	20				0.75	0.95	0.85			
	40				0.62	0.66	0.64			
	50				0.54	0.57	0.56			
同 上 II	20				0.83	0.93	0.88			
	40				0.57	0.67	0.62			
	50				0.33	0.57	0.45			
CTM(A) I	20				0.75	0.76	0.76			
	40				0.66	0.58	0.62			
	50				0.54	0.59	0.57			
同 上 II	20				0.72	0.74	0.73			
	40				0.53	0.48	0.51			
	50				0.48	0.44	0.46			
デックシール I	20				0.86	1.00	0.93			
	40				0.74	0.67	0.71			
	50				0.73	0.68	0.71			
同 上 II	20				0.88	1.10	0.99			

別表 - 43

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
	40				0.74	0.85	0.80			
	50				0.69	0.75	0.72			
AE2M(A) I	20				0.71	0.69	0.70			
	40				0.56	0.49	0.53			
	50				0.37	0.31	0.34			
同 上 II	20				0.88	0.92	0.90			
	40				0.70	0.76	0.73			
	50				0.64	0.59	0.62			

SA	: ストレートアスファルト	$l/100m$	
AE1	: アスファルト乳剤その1	本 体	シールコート
AE2	: アスファルト乳剤その2	SAP	302~323 64~ 76
CA1	: カットバックスアスファルトその1	AE1AE2P	444~558 91~107
CA2	: カットバックスアスファルトその2		
ST	: ストレートタール	CA1P	313~349 84~ 91
CT	: カットバックタール	CA2P	291~325 —
P	: 滲透式	STP	326~363 91~103
	(A) シールコートなし O	AE1C	7.8% 91~100
	(B) シールコート S	AE2C	7.3 110
M	: 混合式	CA1C	5.0 91
	(A) 粗粒式 C	CA2C	4.7 89~ 93
	(B) 密粒式 F	CTC	5.0 99
		AE1F	8.3 102
I	は路盤I種類	AE2F	7.9 110~114
II	は路盤II種類	CTF	5.0 80~ 99
		SAC	6.6 102~106
		STC	5.1 91~ 97
		SAF	10.9 —
		STF	7.0 87~ 93

表2-14

道路研究室

測定場所 第3京浜道路

測定月日 S 41. 1. 26 ~ 28

測定条件 開通(40. 12. 19)直後の状態を測定した

試験車 大型道路試験車

車線別の変化、シノパールの変化を求める。

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装路面										
密粒アスコン %	40									
アスファルト %										
第1車線				0.89				5.0	8.0	左
第2車線				0.85						5.0~
第3車線				0.81						
	60									右
第1車線				0.77						8.0
第2車線				0.83						
第3車線				0.85						
	80									
第1車線				0.83						
第2車線				0.83						
第3車線				0.77						
同 上	40									
シノパール										
アスファルト %										
第1車線				0.79						
第2車線				0.83						
第3車線				0.85						
	60									
第1車線				0.78						
第2車線				0.82						

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
第3車線	80			0.74						
第1車線				0.88						
第2車線				0.87						
第3車線				0.93						
アスファルト舗装										
密粒アスコン	40									
アスファルト %										
第1車線							0.38	7.0	8.0	左右共
第2車線							0.39			8.0~
第3車線							0.50			
	60									
第1車線							0.32			
第2車線							0.35			
第3車線							0.36			
	80									
第1車線							0.41			
第2車線							0.44			
第3車線							0.39			
同上シノパール										
アスファルト %	40									
第1車線							0.50			
第2車線							0.49			
第3車線							0.50			
	60									
第1車線							0.38			
第2車線							0.41			
第3車線							0.41			
	80									
第1車線							0.35			
第2車線							0.29			
第3車線							0.33			

表2—15

道路研究室

測定場所 名阪国道

測定月日 S 41. 3. 10

測定条件 アスファルト舗装の測定

試験車 大型道路試験車

新しいもの、すべり止効果、一部コンクリート

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 久我～関インター間 (アスコン)	50	0.73	0.70	0.72	0.67	0.60	0.64	11.0	15.0 17.0	— 17.0
久我インター～関トンネル間 (すべり止め舗装)	45	0.73	0.70	0.72	0.64	0.60	0.62	11.5	12.0 14.0	— 17.0
関トンネル内 (コンクリート舗装)	50	0.88	0.84	0.86	0.61	0.54	0.58	10.5	12.5 14.5	— 17.0
向井～板屋インター間 (すべり止め舗装)	50	0.77	0.76	0.77	0.64	0.60	0.62	7.0	9.0 10.0	— 17.0
板屋～中在家インター間 (アスコン)	50	0.78	0.72	0.75	0.67	0.59	0.63	9.0	11.5 13.5	— 17.0
加太トンネル内 (コンクリート舗装)	50	0.88	0.89	0.89	0.47	0.48	0.48	16.0	19.5 21.5	— 17.0
加太トンネル～伊賀インター (すべり止め舗装)	50	0.82	0.80	0.81	0.70	0.54	0.62	13.0	18.0 20.0	— 17.0
五月橋～山添インター間 (トベカ)	50	0.76	0.70	0.73	0.57	0.48	0.53	14.0	23.0 25.0	— 17.0
山添インター～遅瀬川間 (トベカ)	50	0.76	0.67	0.72	0.51	0.51	0.51	11.5	20.0 22.0	— 17.0
遅瀬川橋面 (すべり止め舗装)	50	0.60	0.54	0.57	0.54	0.51	0.53	11.5	20.0 22.0	— 17.0

表 2-16

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 3. 2

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 (アスコン)	20	0.816	0.901	0.858						
					0.847	0.956	0.901			
	40	0.689	0.744	0.716						
					0.702	0.736	0.719			

表 2-17

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 3. 28 曇一小雨

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 (アスコン)	20	0.757	0.785	0.771				9.0	10.0	40.0
					0.822	0.876	0.849	8.0	9.5	11.0
	40	0.703	0.785	0.744				9.0	10.0	40.0
					0.703	0.725	0.714	8.0	9.5	12.0
	60	0.730	0.755	0.742				9.0	10.0	40.0
					0.686	0.683	0.684	8.0	9.5	14.0

表 2—18

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 5. 2(雨降り) 3日(乾燥)

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための常時

試験車 大型道路試験車

測定

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 (アスコン)	20	0.741	0.786	0.763				20.0	24.0	22.0~52.0
					0.811	0.846	0.828	20.0	23.0	26.0
	40	0.649	0.683	0.666				20.0	24.0	22.0~52.0
					0.719	0.762	0.740	20.0	23.0	26.0
	60	0.686	0.743	0.714				20.0	24.0	22.0~52.0
					0.665	0.665	0.665	20.0	23.0	26.0

表 2—19

路面すべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 5. 25

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定 雨降り(散水せず)

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装	20				0.868	0.939	0.903			
	40				0.759	0.857	0.808	16℃	21.0 ~ 21.5	左右共 18.5~20.0
	60				0.754	0.718	0.736			

表 2-20

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 6

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための
常時測定

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト 舗装	20	0.839	0.876	0.857				21.0	26.0	
	40	0.737	0.725	0.731						
	60	0.719	0.679	0.699						
	20				0.969	0.876	0.922	21.5	26.0	
	40				0.818	0.814	0.816			
	60				0.726	0.657	0.691			

表 2-21

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 5(夜)

測定条件 コンクリート舗装の経年変化を知るための
常時測定、特に夜間(午後11時)に測定
した。

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト	20	0.805	0.835	0.820				17.2	20.5	
	40	0.742	0.707	0.729						
	60	0.748	0.752	0.750						
	20				0.896	0.875	0.885	17.2	20.6	
	40				0.766	0.778	0.772			
	60				0.689	0.649	0.669			

表2-22

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 18 晴

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト 舗装	20	0.788	0.825	0.806						
		0.756	0.825	0.791						
		0.756	0.825	0.791						
	平均			0.796						
	40	0.756	0.726	0.741				28.5	40.0	
		0.725	0.726	0.725						
		0.756	0.726	0.741						
	平均			0.736						
	60	0.725	0.726	0.725						
		0.756	0.715	0.736						
		0.756	0.660	0.708						
	平均			0.724						
	20				1.008	1.056	1.032			
					1.040	1.089	1.064			
					1.040	1.089	1.064			
	平均						1.054			
	40				0.851	0.792	0.821			
					0.882	0.792	0.837	28.0	32.0	
					0.788	0.825	0.806			
	平均						0.821			
	60				0.756	0.726	0.741			
					0.756	0.715	0.736			
					0.756	0.726	0.741			
	平均						0.739			

表 2-23

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 21 (午前 10~12 時)

試験車 大型道路試験車

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための
常時測定

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト 舗装	20	0.921	0.867	0.894						
		0.890	0.867	0.878						
		0.859	0.770	0.814						
	平均			0.862						
	40	0.798	0.738	0.768				28.3	41.0	60.0
		0.737	0.803	0.770						~
		0.706	0.770	0.738						65.0
	平均			0.759						
	60	0.798	0.770	0.784						
		0.737	0.770	0.753						
		0.645	0.770	0.707						
	平均			0.748						
	20				0.890	0.835	0.862			
					0.890	0.899	0.894			
					0.890	0.899	0.894			
	平均						0.883			36.0
	40				0.859	0.770	0.814	28.6	36.6	~
					0.829	0.770	0.800			35.0
					0.829	0.770	0.800			
	平均						0.805			
	60				0.737	0.642	0.689			
					0.706	0.642	0.674			
					0.737	0.642	0.689			
	平均						0.684			

表2—24

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 7. 21(午後1～3時)

測定条件 アスファルト舗装の経年変化を知るための

試験車 大型道路試験車

常時測定

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト 舗装	20	0.859	0.818	0.838						
		0.859	0.818	0.838						
		0.798	0.818	0.808						
	平均			0.828						
		0.798	0.692	0.745						
		0.798	0.755	0.776				29.0	41.7	
	40	0.706	0.661	0.683						
				0.734						
		0.798	0.629	0.713						
	平均	0.706	0.692	0.699						
		0.737	0.629	0.683						
				0.698						
	20				0.890	0.786	0.838			
					0.921	0.849	0.885			
					0.859	0.818	0.838			
	平均						0.854			
					0.737	0.661	0.699			
					0.737	0.661	0.699	29.5	34.0	
	40				0.675	0.692	0.683			
							0.694			
					0.706	0.566	0.636			
	平均				0.675	0.629	0.654			
					0.675	0.629	0.654			
							0.647			

表 2—2 5

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 第3京浜道路

測定月日 S 41. 8. 12 , 13

測定条件 アスファルト舗装の車線別(交通量別)経
年変化を求めるもの。

試験車 大型道路試験車

主要結果 あまり明瞭ではない。

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト コンクリート	40							乾燥	乾燥	
	第1車線			0.961			0.583	37.5	50.5	当日の交通量
	第2車線			0.970			0.583	~	~	
	第3車線			0.997			0.767	35.5	53.0	第1車線
	60							湿潤	湿潤	480台/h
	第1車線			1.013			0.370	34.0	35.5	
	第2車線			0.982			0.439	~	~	第2車線
	第3車線			0.950			0.585	35.5	45.0	629台/h
	80									
	第1車線			1.025						第3車線
	第2車線			1.045						147台/h
	第3車線			0.996						
シノパール入 アスファルト コンクリート	40									
	第1車線			1.061			0.618	乾燥	乾燥	
	第2車線			1.017			0.669	37.5	50.5	
	第3車線			0.932			0.735	~	~	
	60							35.5	53.0	
	第1車線			0.887			0.447			
	第2車線			0.967			0.517	湿潤	湿潤	
	第3車線			0.861			0.558	34.0	35.5	
	80							~	~	
	第1車線			1.034			0.395	35.5	45.0	
	第2車線			0.960			0.381			
	第3車線			0.975			0.391			

表2-26

名神高速自動車道のすべり摩擦係数 (その1)

測定区間	舗装種別	走行速度 $\frac{km}{h}$	すべり摩擦係数		外気温		路面温度		測定年月日
			乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	
小牧 ~ 一宮 (184~185)	アスファルト	40	0.869	0.696	30.5℃	31.0℃	44.3℃	35.8℃	乾燥測定 S 41.8.30 湿潤測定 S 41.9.2
	"	60	0.874	0.664					
	"	80	0.963	0.542	30.0	30.6	44.8	35.5	
	"	(100)		(0.462)					
一宮 ~ 大垣 (164~165)	アスファルト	40	0.748	0.632	30.5	31.0	44.5	38.0	
	"	60	0.731	0.559					
	"	80	0.752	0.430	30.8	32.0	44.7	37.5	
	"	(100)		(0.350)					
大垣 ~ 関ヶ原 (156~157)	アスファルト	40	0.737	0.658	30.8	33.0	44.1	38.5	
	"	60	0.763	0.563					
	"	80	0.800	0.474	31.9	31.0	44.2	37.0	
	"	(100)		(0.394)					
関ヶ原 ~ 彦根 (146~147)	アスファルト	40	0.773	0.677	31.2	31.0	38.7	36.0	
	"	60	0.822	0.578					
	"	80	0.830	0.523	31.2	30.5	39.2	35.5	
	"	(100)		(0.443)					
彦根 ~ 八日市 (118~119)	アスファルト	40	0.858	0.462	30.5	33.5	35.4	41.0	
	"	60	0.815	0.392					
	"	80	0.894	0.304	29.3	32.0	36.0	38.0	
	"	(100)		(0.224)					
八日市 ~ 栗東 (84 ~ 85)	アスファルト	40	0.735	0.716	28.2	33.0	36.3	42.0	
	"	60	0.775	0.569					
	"	80	0.879	0.449	31.0	32.0	36.5	41.0	
	"	(100)		(0.369)					
栗東 ~ 大津 (68 ~ 69)	アスファルト	40	0.767	0.524	26.6	33.5	29.8	42.5	
	"	60	0.822	0.422					
	"	80	0.847	0.358	28.3	34.0	29.7	42.2	
	"	(100)		(0.278)					
大津トンネル内	コンクリート	40	0.784	0.567	25.5	27.5	25.8	25.5	
蟬丸トンネル内	コンクリート	60	0.832	0.470	25.5	29.5	26.0	25.5	

()内の100 km/h に対する数値は推定計算値、※印は実測値

名神高速自動車のすべり摩擦係数（その2）

測定区間	舗装種別	走行速度	すべり摩擦係数		外気温		路面温度		測定年月日
			乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	
京都東～京都南 (57.6 附近) オーバーレイ	アスファルト	40 $\frac{km}{h}$	0.759	0.528	39.5℃	31.5℃	40.1℃	39.0℃	乾燥湿潤 共に S 41. 8. 31
	"	60	0.791	0.388	30.0	32.0	41.5	36.0	
	"	80	0.791	0.337	35.0	31.5	44.3	39.0	
	"	(100)		(0.257)					
京都東～京都南 (57.6 附近)	アスファルト	40	0.759	0.489	30.0	31.5	37.5	37.0	
	"	60	0.879	0.424	30.0	32.0	39.5	35.5	
	"	80	0.801	0.386	35.0	31.5	41.5	37.0	
	"	(100)		(0.306)					
京都東～京都南 (56.5～55.9) 曲線部	アスファルト	40	0.801	0.522	34.0	30.0	39.5	35.5	
	"	60	0.824	0.392	32.0	31.0	38.5	36.0	
	"	80	0.885	0.352	34.0	31.0	44.0	34.5	
	"	(100)		(0.272)					
山科バスストップ	コンクリート	40	0.710	0.734	34.0	31.0	38.0	36.5	
	"	60	0.885	0.598	32.0	31.0	39.6	37.5	
京都南～京都東 (54.2 附近)	アスファルト	40	0.896	0.537	33.0	30.0	40.2	30.8	
	"	60	0.909	0.455	34.0	31.5	41.0	31.7	
	"	80	0.906	0.378	37.0	28.5	47.6	30.5	
	"	(100)		(0.298)					
京都南～京都東 (54.8 附近) 橋面	アスファルト	40	0.854	0.503					
	"	60	0.885	0.450					
	"	80	0.759	0.365	—	28.5	—	28.2	
	"	(100)		(0.285)					
京都南～京都東 (54.8 附近)	アスファルト	40	0.833	0.541	33.0	30.4	42.0	32.0	
	"	60	0.917	0.436	34.0	30.5	43.5	32.5	
	"	80	0.864	0.361	37.0	28.5	47.5	29.5	
	"	(100)		(0.281)					
京都東～京都南 (56.5～55.9) 曲線部 追越車線	アスファルト	60	0.744	0.556	32.0	—	41.5	—	
	"	80	0.837	0.524					
	"	※100	0.858	0.440	35.0	—	42.0	—	
京都南～京都東 (54.2 附近) 追越車線	アスファルト	60	0.759	0.514	32.0	—	38.0	—	
	"	80	0.868	0.409					
	"	※100	0.906	0.378	34.0	—	38.0	—	

名神高速自動車道のすべり摩擦係数 (その3)

測定区間	舗装種別	走行速度 km/h	すべり摩擦係数		外気温		路面温度		測定年月日
			乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	
京都南～茨木 (43～44)	アスファルト	40	0.847	0.613	33.0	30.5	42.5	35.8	乾燥湿潤 共に S 41.9.1
	"	60	0.860	0.527					
	"	80	0.843	0.439	33.0	30.6	41.7	35.0	
	"	(100)		(0.359)					
茨木～豊中 (22～23)	アスファルト	40	0.866	0.637	33.2	31.0	43.6	37.0	
	"	60	0.843	0.506					
	"	80	0.906	0.369	34.0	31.4	43.2	34.0	
	"	(100)		(0.289)					
豊中～尼ヶ崎 (8～9)	アスファルト	40	0.889	0.628	33.0	33.0	41.8	37.0	
	"	60	0.801	0.472	—	32.0	—	37.3	
	"	80	0.906	0.411					
	"	(100)		(0.331)					
尼ヶ崎～西宮 (4～5)	アスファルト	40	0.917	0.597	32.6	32.8	41.5	39.0	
	"	60	0.927	0.548					
	"	80	0.847	0.443	33.0	31.2	42.3	38.7	
	"	(100)		(0.363)					

但し()内の100km/h に対する摩擦係数は推定値、※印は実測値

(3) すべり止め舗装の効果を主とした測定結果

表 3—1

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道4号線福島～盛岡間

測定月日 S 40. 3. 2 ～ 3

測定条件 名種すべり止め舗装の効果測定

試験車 大型道路試験車

主要結果 花巻、福島は差があるが他は差がない。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)		湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
花巻市宮の目 散布式碎石 5 ～ 10mm	50	リブタイヤ	0.76						
ガムファルト、ブ レコート	"	スノータイヤ	0.92						
同 上	50	リブタイヤ	0.63						
密粒アスコン	"	スノータイヤ	0.71						
胆沢郡前沢町 20 人町									
デックシール	50	リブタイヤ	0.70						
	"	スノータイヤ	0.84						
同 上									
密粒アスコン	50	リブタイヤ	0.78						
	"	スノータイヤ	0.86						
一の関市山目 散 布 式	50	リブタイヤ	0.75						
	"	スノータイヤ	0.97						
同 上									
密粒アスコン	50	リブタイヤ	0.76						
	"	スノータイヤ	0.78						
大衡村 シリカサンド、RA セメント	50	リブタイヤ	0.84						
	"	スノータイヤ	0.90						
同 上	"	リブタイヤ	0.82						
密粒アスコン	50	スノータイヤ	0.84						
仙台バイパス ポリベープ	50	リブタイヤ	0.93						
	"	スノータイヤ	1.06						
同 上									
密粒アスコン	50	リブタイヤ	0.91						
	"	スノータイヤ	1.05						

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
岩沼バイパス シリカサンド RA セメント	50	リブタイヤ		0.88						
	"	スノータイヤ		0.98						
同 上 密粒アスコン	50	リブタイヤ		0.92						
	"	スノータイヤ		1.02						
福島市 スラリーシール	50	リブタイヤ		0.84						
	"	スノータイヤ		0.86						
同 上 密粒アスコン	50	リブタイヤ		0.62						
	"	スノータイヤ		0.74						

表 3-2

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道20号線甲府市内龍王町バイパス入口

測定月日 S40. 5. 18 ~ 20

試験車 大型道路試験車

測定条件 各種アスファルト舗装の効果測定

タイヤ圧27ポンド

(すべり止め舗装の効果測定)

主要結果 種類別の差は見られない。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
ト ベ カ	30		0.93	0.93				20.0	30.0	測定前 18.0
	30				0.89	0.71	0.80	23.0	40.0	
	50	1.05	0.93	0.99				20.0	42.0	
	50				0.71	0.54	0.63	23.0	36.0	
ガムファルト アスファルト 4.8% ファイラー 5.7% アスファルト 容積 11.0%	30	0.95	1.13	1.04				20.0	31.0	測定後 50.0
	30				0.81	0.80	0.81	23.0	35.0	
	50	0.92	0.92	0.92				20.0	42.0	
	50				0.73	0.58	0.65	23.0	32.0	
ストレートアスファルト アスファルト 4.8% ファイラー 5.0%	30	1.03	0.91	0.97				20.0	30.0	
	30				0.88	0.74	0.81	23.0	36.0	
	50	0.97	0.81	0.89				20.0	40.0	
	50				0.72	0.60	0.66	23.0	32.0	

道路舗装種別	走行速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
ポリベープ	30	0.97	0.84	0.91				20.0	30.0	
アスファルト 4.8%	30				0.86	0.74	0.80	23.0	36.0	
ファイラー 5.7%	50	0.96	0.83	0.90				20.0	36.0	
	50				0.72	0.58	0.65	23.0	32.0	
RAセメント	30	0.94	0.91	0.92				20.0	32.0	
	30				0.85	0.80	0.82	23.0	37.0	
アスファルト 4.8%	50	0.95	0.89	0.92				20.0	40.0	
ファイラー 5.7%	50				0.66	0.65	0.65	23.0	33.0	

表 3-3

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道4号線東京都内

測定月日 S 40. 7. 15 ~ 16

測定条件 夜間測定 (23時30分 ~ 3時30分)

試験車 大型道路試験車

交差点手前で追突事故が多いので測定した。

片側2~3車線の広い所である。

主要結果 特に小さいとは考えられない。

道路舗装種別	走行速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
上り東京方面 No.1 (舗装種別)	50	0.82	0.82	0.82				28.0	27.5	27.0
					0.39	0.40	0.40	25.7	25.8	
					0.42	0.28	0.35	27.0	26.0	38.0~
					0.30	0.28	0.29	25.0	25.0	33.0
平 均				0.82			0.35			
No.2	50	0.64	0.78	0.71				28.0	27.7	31.0
					0.49	0.40	0.45	25.0	25.8	
					0.49	0.56	0.53	24.8	24.6	38.0~
					0.46	0.48	0.47	26.3	26.0	33.0
平 均				0.71			0.48			
No.3	50	0.71	0.70	0.71				27.5	27.1	45.0
					0.39	0.35	0.37	24.5	25.5	38.0~

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
平 均	50			0.71	0.42	0.44	0.43 0.40	25.0	25.4	33.0
No.4	50	—	—	—	0.53	0.52	0.53	25.3	25.8	38.0~ 33.0
平 均					0.39	0.56	0.48	26.0	25.7	
					0.49	0.44	0.47	24.0	24.5	
							0.49			
下り草加方向 No.1	50	0.78	0.78	0.78	0.46	0.48	0.47	27.0	26.8	38.0
平 均					0.44	0.52	0.48	25.2	25.8	
					0.53	0.44	0.49	25.0	24.8	
							0.48	()	()	
No.2	50	0.78	0.82	0.80	0.46	0.54	0.50	27.0	26.3	40.0 38.0~ 33.0
平 均					0.53	0.50	0.52	25.0	25.8	
					0.53	0.44	0.49	26.1	25.6	
							0.50	()	()	
No.3	50	0.82	0.74	0.78	0.49	0.50	0.50	26.5	26.5	47.0 38.0~ 33.0
平 均					0.60	0.50	0.55	24.8	25.2	
					0.56	0.52	0.54	24.8	25.0	
							0.53	()	()	
No.4	50	0.75	0.65	0.70	0.46	0.44	0.45	27.2	27.0	45.0 38.0~ 33.0
平 均					0.42	0.41	0.42	25.2	25.8	
					0.49	0.45	0.47	26.3	25.5	
							0.45	()	()	

表 3-4

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 上越国道 17 号線芝原地区

測定月日 S 40. 7. 20

測定条件 アスファルト舗装部分の測定

試験車 大型道路試験車

危険部の原因を調査するため。

主要結果 危険の原因は線形と考えられる。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト 舗装 曲線部分 半径 50 m	15	上り 0.86	0.82	0.84	上り 0.91	0.72	0.82	乾燥時 29.0 湿潤時 25.0 ～ 28.0	39.0 31.0	30.0 ～ 54.0 27.5 ～ 30.0
		下り 0.77			下り 0.82						0.81 0.81
	30	上り 0.81	0.81	0.81	上り 0.68	0.61	0.65			
		下り 0.72			下り 0.71						0.67 0.66
	50	上り 0.72	0.70	0.71						
同 上 曲線部分 半径 30 m	15	上り 0.88	0.78	0.83	上り 0.80	0.64	0.72			
		下り 0.82			下り 0.82						0.78 0.75
	30	上り 0.78	0.75	0.77	上り 0.72	0.57	0.65			
		下り 0.87			下り 0.77						0.66 0.65
	40	上り 0.63	0.75	0.69						
同 上 曲線部分	15	上り 0.88	0.82	0.85	上り 0.85	0.82	0.84	乾燥時 29.0	39.0	30.0 ～ 54.0
		下り 0.84			下り 0.87			湿潤時 25.0 ～ 28.0			27.5 ～ 30.0

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
	30	上り 0.82	0.83	0.83	下り 0.78	0.76	0.77 0.77			
	50	上り 0.81	0.89	0.85						

表3-5

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 上越国道17号線四十日地区 測定月日 S 40. 7. 21 大雨

測定条件 アスファルト舗装の測定

危険部の原因を調査するため。

試験車 大型道路試験車

主要結果 事故多発路面はすべりまさつ係数が小さいことが分る。

道路舗装種別	走行速度	乾燥（タテ）			湿潤（タテ）			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 普通路面（事故の少い所）	10				上り 0.87	0.78	0.83	22.0 ～ 23.0	24.0 ～ 27.0	25.0 ～ 31.0
					下り 0.88						0.83	0.86 0.84
	40				上り 0.71	0.66	0.69			
					下り 0.72						0.64	0.68
	60				上り 0.61	0.56	0.59			
					下り 0.62						0.56	0.59 0.59
アスファルト舗装 事故多発路面	10				上り 0.89	0.77	0.83			
					下り 0.84			0.78	0.81 0.82	

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥（タテ）			湿 潤（タテ）			湿 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
	40				上り	0.55	0.57			
					0.58					
	下り	0.60	0.63							
	0.66									
60					上り	0.41	0.38			
					0.35					
					下り	0.50	0.51			
					0.51					
							0.45			

表 3-6

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道17号線三国峠北浅貝地区

測定月日 S 38. 8. 12

測定条件 各種アスファルト舗装の効果測定（経年
変化）

試験車 大型道路試験車

試験舗装区間、竣工直後

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥（タテ）			湿潤（タテ）			湿 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
トベカ舗装	30						0.60			
密粒アスコン	10						0.64			
	30						0.62			
ギャップ型	10						0.78			
すべり止工	30						0.70			

表 3-7

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道17号線三国峠北、浅貝地区

測定月日 S39. 6. 16 ~ 19

測定条件 各種アスファルト舗装の効果測定(経年変化)

試験車 大型道路試験車

(試験舗装区間・S38. 11月舗完)

主要結果 左右の差が大きいので一般的な解析には用い
ず、相対比較にのみ用いる。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
トベカ舗装	10	0.62	0.42	0.52	0.70	0.44	0.52			
	30	0.54	0.37	0.46	0.50	0.32	0.41			
密粒アスコン	10	0.61	0.43	0.52	0.70	0.45	0.58			
	30	0.56	0.39	0.48	0.51	0.36	0.44			
ギャップ型すべ り止工	10	0.63	0.47	0.55	0.63	0.46	0.55			
	30	0.54	0.43	0.49	0.54	0.39	0.47			
トベカ舗装	横すべり20°				横すべり20°					
	10	0.44	0.54	0.49	0.62	0.46	0.54			
	30	0.54	0.37	0.46	0.50	0.32	0.41			
	55	0.59	0.53	0.56						
密粒アスコン	10	0.47	0.55	0.51	0.57	0.49	0.53			
	30	0.55	0.51	0.53	0.51	0.48	0.50			
	55	0.65	0.54	0.60						
ギャップ型すべ り止工	10	0.53	0.56	0.55	0.50	0.42	0.46			
	30	0.61	0.53	0.57	0.60	0.48	0.54			
	55	0.65	0.57	0.61						

表3—8

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道17号線三国峠北、浅貝地区 測定月日 S 40. 7. 22 小 雨

測定条件 各種アスファルト舗装の効果測定(経年)

試験車 大型道路試験車

主要結果 ギャップ型は経年的に悪くなることを示す。

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装										
ギャップ型(新)	20		0.81							21.0
" (旧)	20		0.68					20.0	22.0	~ 35.0
密粒アスコン	20		0.77							(一部
トベカ	20		0.72							53.0)

表3—9

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道14号線一之江橋東京側 測定月日 S 40. 9. 27

測定条件 アスファルト舗装の測定

試験車 大型道路試験車

オーバーレイ後追突事故が多発したので。

主要結果 少し小さいがそれ程悪くはない。

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 (トベカ)	50	上り 0.94 下り 0.95	0.94 0.93	0.94 0.94				25.0 ~ 26.0	36.0	26.5 ~ 60.0
	50				上り 0.48 下り 0.42	0.48 0.41	0.48 0.42 0.45	25.2	31.0	31.0

表3-10

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 首都高速道路

測定月日 S 40. 7. 5

試験車 大型道路試験車

測定条件 首都高速道路4号線のトンネル付近がすべりやすくなったので状況を測定した。降雨による自然湿潤

主要結果 非常にすべりやすい路面である。(カルシウムの影響)

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 4号線下り方向ー霞ヶ関										
千代田トンネル入った所	40				0.35	0.33	0.34			
					0.39	0.36	0.38			
					0.37	0.36	0.37			
							0.36			
霞ヶ関方向に分岐した所	40				0.55	0.44	0.50			
三宅坂合流点先(ルーバーの下)	40				0.29	0.26	0.28			
					0.44	0.36	0.40			
4号線上り方向 新宿 → 羽田							0.34			
千代田トンネル入口	40				0.40	0.41	0.41			
					0.24	0.18	0.21			
							0.31			
平河町ルーバー下	40				0.31	0.30	0.31			
					0.24	0.23	0.24			
							0.27			
半蔵門合流点手前	40				0.22	0.28	0.25			
					0.24	0.26	0.25			
							0.25			
半蔵門合流点部分	40				0.11	0.22	0.17			
					0.19	0.20	0.20			
							0.18			

道路舗装種別	走行速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
千代田トンネル 羽田側出口附近					0.37 0.37 0.40	0.33 0.33 0.38	0.35 0.35 0.39 0.36			

表3—11

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 首都高速道路

測定月日 S 40. 11. 30

測定条件 首都高速道路、4号線トンネル部分すべり対策の

試験車 大型道路試験車

効果をしるため。

主要結果 エメリーの効果がよく表われている。

道路舗装種別	走行速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 千代田トンネル 内上り	50									
霞ヶ関合流点の 先			0.88		0.57			13.0	乾燥 12.3	15.0
A種対策 1回			1.02		0.59					~
2回			0.86		0.65					
3回			0.86		0.57				湿潤 11.5	25.0
			0.99		0.59					
			0.99		0.63					
			0.91		0.57					
			0.91		0.57					
			0.91		0.61					
平 均				0.93			0.59			
同上地点 B種対策	50		0.94		0.86			13.0	乾燥 12.5	15.0
			0.91		0.84					~
			0.83		0.88				湿潤 11.7	25.0
				0.89			0.86			
同上地点 C種対策	50		0.86		0.84			13.0	乾燥 12.7	15.0
			0.83		0.84					~
										25.0

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
	50		0.96	0.88	0.75		0.81		湿 潤 11.8	
同上地点 普通コンクリート路面 (無処理、良好路面)	50		0.96 1.02 0.91 1.02 0.99 0.91	0.97	0.48 0.46 0.48 0.36 0.46 0.42		0.44	13.0		15.0 ~ 25.0
コンクリート舗装 千代田トンネル 内、上り 覆ヶ関合流点付近 A種対策	50		0.91 0.78 0.86 0.75 0.91	0.84	0.54 0.50 0.50 0.54 0.52			13.0	乾 燥 13.1 湿 潤 12.6	15.0 ~ 25.0
同上地点 B種対策	50		0.80 0.72 0.78	0.77	0.88 0.75 0.88		0.84	13.0	乾 燥 12.8 湿 潤 12.3	15.0 ~ 25.0
同上地点 C種対策	50		0.88 0.78 0.80	0.82	0.78 0.78 0.80		0.79	13.0	乾 燥 12.5 湿 潤 11.9	15.0 ~ 25.0
同上地点 普通コンクリート 路面 (良好路面、無 処理)	50		0.75 0.80 0.70	0.75	0.52 0.54 0.50		0.52	13.0		15.0 ~ 25.0
但 A種対策とは 塩酸50kg/100㎡ を散布し散水して 洗い流したものの。										

B種対策とは エポキシ樹脂下 塗 $0.5\text{Kg}/\text{m}^2$ 上塗 $1.3\text{Kg}/\text{m}^2$ 骨材エメリー径 2.5 以下のもの を $5\text{Kg}/\text{m}^2$ 散布 C種対策とは エポキシ樹脂下塗 $0.5\text{Kg}/\text{m}^2$ 上塗 $1.3\text{Kg}/\text{m}^2$ 骨材 エメリー 60%、 シノパール(径5~ 2.5mm) 40% のものを $5\text{Kg}/\text{m}^2$ 散布									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

表3—12

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道13号線山形管内

測定月日 S 41. 2. 27

測定条件 すべり止め舗装の効果

試験車 トヨタライトバン

スノータイヤ

チェーンなし

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
ダラコート入す べり止工 のぞきトンネル 付近	30			0.70				±0.0		
				0.75						

表 3-13

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 国道17号線埼玉県大宮-吹上間

測定月日 84.1.4.4.

測定条件 アスコンの舗設直後のすべり抵抗値をうるため

試験車 大型道路試験車

(2月未完)

降雨中の測定である。

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト コンクリート	20				0.84	0.86	0.85	10.5	12.0	14.0
	40				0.73	0.67	0.70	〃	〃	〃
	60				0.60	0.64	0.62	〃	〃	〃

表3-14

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 17号線三国峠北側(図面No.1) 測定月日 S41.6.7 雲

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タタ)			湿潤(タタ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 ギャツプ型 S、39年 施工	20Km/h	0.788	0.824							
		0.759	0.857							
		0.818	0.824							
	平 均	0.788	0.835	0.812				13.0	22.0	
	40Km/h	0.818	0.791							
		0.759	0.692							
		0.759	0.725							
	平 均	0.779	0.736	0.757						
	60Km/h	0.788	0.692							
		0.730	0.725							
		0.818	0.725							
	平 均	0.779	0.714	0.746						
	20Km/h				0.748					
					0.818					
					0.788					
	平 均				0.785		0.785	12.0	16.5	
	40Km/h				0.642					
					0.672					
					0.613					
	平 均				0.642		0.642			
	60Km/h				0.526					
					0.555					
					0.526					
	平 均				0.536		0.536			

表 3-15

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線三国峠北側(図面No.1)

測定月日 S 4 1. 6. 7 曇

測定条件

試験車

大型道路試験車

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 密粒度アスコン S、38年 施工部分	20Km/h	0.905	0.758							
		0.759	0.725							
		0.788	0.791							
	平 均	0.817	0.758	0.788				13.0	22.0	
	40Km/h	0.818	0.791							
		0.864	0.791							
	平 均	0.831	0.791	0.816						
	60Km/h	0.818	0.725							
		0.788	0.725							
		0.759	0.758							
	平 均	0.786	0.736	0.762						
	20Km/h				0.672					
					0.788					
					0.730					
	平 均				0.730		0.730	12.0	16.5	
	40Km/h				0.642					
					0.642					
					0.642					
	平 均				0.642		0.642			
	60Km/h				0.584					
					0.526					
					0.584					
					0.565		0.565			

表3-16

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 17号線三国峠北側(図面No.1)

測定月日 S41.6.7 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 ギャツプ型 S40年 施工	20Km/h	0.788	0.824							
		0.759	0.778							
		0.759	0.804							
	平 均	0.769	0.802	0.785				13.0	22.0	
	40Km/h	0.788	0.758							
		0.759	0.791							
		0.701	0.791							
	平 均	0.749	0.780	0.765						
	60Km/h	0.759	0.692							
		0.642	0.758							
		0.759	0.791							
	平 均	0.720	0.747	0.734						
	20Km/h				0.759					
					0.759					
					0.818					
	平 均				0.779		0.779	12.0	16.5	
	40Km/h				0.642					
					0.642					
					0.642					
	平 均				0.642		0.642			
	60Km/h				0.642					
					0.496					
					0.526					
	平 均				0.555		0.555			

表3-17

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線、上越火打道路(図面No.2)

測定月日 S41.6.7 曇

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 (苗場スキー場前) ギャップ型 S40年 施工 アスファルト 6.5% 石粉 13.0%	20Km/h	0.876								
		0.876								
		0.876								
	平均	0.876		0.876				12.0	19.0	
	40Km/h	0.847								
		0.847								
		0.876								
	平均	0.857		0.857						
	60Km/h	0.818								
		0.818								
		0.847								
	平均	0.828		0.828						
	20Km/h				0.837					
					0.905					
					0.876					
	平均				0.872		0.872	12.0	16.5	20.0
	40Km/h				0.712					
					0.712					
					0.730					
	平均				0.718		0.718			
	60Km/h				0.572					
					0.496					
					0.584					
	平均				0.551		0.551			

表3-18

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究所

測定場所

17号線上越元橋道路(図面%3)

測定月日 S 4 1. 6. 7 曇

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 プレコート S 4 0 年 施工 アスファルト 9.0 % 石 粉 9.1 %	20Km/h	0.876								
		0.876								
		0.876								
	平 均	0.876	0.876					12.0	19.0	
	40Km/h	0.876								
		0.818								
		0.847								
	平 均	0.847	0.847							
	60Km/h	0.818								
		0.818								
		0.818								
	平 均	0.818	0.818							
	20Km/h				0.876					
					0.759					
					0.788					
	平 均				0.808	0.808		12.0	15.0	20.0
	40Km/h				0.689					
					0.602					
					0.654					
	平 均				0.648	0.648				
	60Km/h				0.584					
					0.672					
					0.584					
	平 均				0.613	0.613				

表3-19

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線上越、元橋道路(図面4)

測定月日 S41.6.7曇

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 密粒 アスコン アスファルト6.5% 石 粉 12.2%	20Km/h	0.876								
		0.829								
		0.829								
	平 均	0.845		0.845				12.0	19.0	
	40Km/h	0.788								
		0.818								
		0.818								
	平 均	0.808		0.808						
	60Km/h	0.847								
		0.788								
		0.788								
	平 均	0.808		0.808						
	20Km/h				0.934					
					0.923					
アスファルト舗装 密粒 アスコン アスファルト6.5% 石 粉 12.2%	平 均				0.923					
					0.927		0.927	12.0	15.0	20.0
	40Km/h				0.613					
					0.172					
					0.672					
	平 均				0.652		0.652			
	60Km/h				0.537					
					0.572					
					0.572					
	平 均				0.560		0.560			

表 3-20

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線上越二居道路(図面4.5)

測定月日 S 4 1. 6. 8 晴

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 S 3 9 年施工 シートアスファルト	20Km/h	0.921	0.937							
		0.921	0.937							
		0.921	0.972							
	平 均	0.921	0.949	0.935				19.0	33.0	
	40Km/h	0.829	0.902							
		0.890	0.868							
		0.829	0.902							
	平 均	0.849	0.891	0.870						
	20Km/h				0.890	0.833				
					0.798	0.916				
					0.860	0.937				
	平 均				0.849	0.895	0.872	19.0	33.0	
	40Km/h				0.688	0.659				
					0.675	0.659				
					0.706	0.659				
	平 均				0.690	0.659	0.674			

表3-21

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究所

測定場所

17号線、上越三俣道路(図面No.7)

測定月日 S41.6.8 晴

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 ガムファルト S40年 施工 アスファルト5.5% 石 粉 9.5%	20Km/h	0.921	0.895							
		0.860	0.833							
		0.798	0.798							
	平 均	0.860	0.842	0.851				22.2	31.5	
	40Km/h	0.847	0.868							
		0.860	0.798							
		0.829	0.798							
	平 均	0.845	0.821	0.833						
	60Km/h	0.829	0.833							
		0.829	0.798							
		0.829	0.833							
	平 均	0.829	0.821	0.825						
	20Km/h				0.829	0.833				
					0.847	0.937				
					0.847	0.939				
	平 均				0.841	0.902	0.872	23.0	29.5	
	40Km/h				0.768	0.784				
					0.737	0.763				
					0.675	0.763				
	平 均				0.725	0.770	0.748			
	60Km/h				0.565	0.729				
					0.583	0.625				
					0.540	0.659				
	平 均				0.563	0.671	0.617			

表3-22

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線 三俣道路(図面4.8)

測定月日 S41.6.8 晴

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 密粒アスコン S40年 施工	20Km/h	0.798	0833							
		0.829	0902							
		0.768	0833							
	平 均	0.798	0856	0827				24.5	35.0	
	40Km/h	0.829	0798							
		0.737	0798							
		0.798	0798							
	平 均	0.788	0798	0793						
	60Km/h	0.768	0798							
		0.768	0763							
アスファルト6.5% 石 粉 14.0%	平 均	0.778	0786	0782						
	20Km/h				1.044	0.972				
					0.982	1.041				
					0.970	1.006				
	平 均				0.999	1.006	1.003	25.0	33.0	
	40Km/h				0.737	0.777				
					0.737	0.798				
					0.737	0.763				
	平 均				0.737	0.779	0.758			
	60Km/h				0.614	0.521				
					0.491	0.576				
					0.491	0.555				
	平 均				0.532	0.551	0.541			

表3-23

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線上越神立道路(図面No.9)

測定月日 S41.6.8 晴

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 ポリベープ S40年 施工 アスファルト6.5% 石 粉13.0%	20Km/h	0.872	0.868							
		0.878	0.868							
		0.860	0.972							
	平均	0.870	0.903	0.886				2.0	34.5	
	40Km/h	0.817	0.833							
		0.860	0.833							
		0.798	0.902							
	平均	0.825	0.856	0.840						
	60Km/h	0.860	0.833							
		0.798	0.819							
		0.798	0.833							
	平均	0.819	0.828	0.824						
	20Km/h				0.952	0.937				
					0.921	0.937				
					0.872	0.854				
	平均				0.915	0.909	0.912	21.5	35.0	
	40Km/h				0.553	0.694				
					0.614	0.659				
					0.645	0.659				
	平均				0.604	0.671	0.637			
	60Km/h				0.491	0.521				
					0.461	0.521				
					0.430	0.486				
	平均				0.451	0.509	0.485			

表3-24

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線上越塩沢第二(図面No.10)

測定月日 S 4 1. 6. 8 午後晴

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 S 4 0 年 施工 修正トベカ アスファルト 8 % 石 粉 11.8 %	20Km/h	0.890	0.857							
		0.933	0.844							
		0.921	0.791							
	平 均	0.913	0.831	0.873						
	60Km/h	0.860	0.824					26.0	44.0	
		0.890	0.791							
		0.829	0.791							
	平 均	0.859	0.803	0.831						
	60Km/h	0.860	0.758							
		0.860	0.758							
		0.737	0.692							
	平 均	0.819	0.736	0.777						
	20Km/h				0.933	0.857				
					0.921	0.857				
アスファルト舗装 S 4 0 年 施工 修正トベカ アスファルト 8 % 石 粉 11.8 %	平 均				0.915	0.835	0.875			
	40Km/h				0.645	0.593		26.0	40.0	
					0.645	0.593				
					0.614	0.613				
	平 均				0.635	0.599	0.617			
	60Km/h				0.583	0.461				
					0.571	0.474				
					0.503	0.474				
	平 均				0.552	0.470	0.511			

表3-25

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所

17号線 上越四十日(図面No.11)

測定月日 S41.6.8午後晴

測定条件

試験車

大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 シートアスファルト 837年 砂利使用施工	20Km/h	0768	0791							
		0768	0758							
		0768	0725							
	平 均	0768	0758	0763				24.5	40.0	
	40Km/h	0798	0758							
		0798	0725							
		0798	0725							
	平 均	0798	0836	0767						
	60Km/h	0737	0725							
		0737	0725							
		0737	0692							
	平 均	0737	0714	0726						
	20Km/h				0829	0791				
					0860	0738				
					0921	0824				
	平 均				0870	0784	0827			
	40Km/h				0663	0560		23.5	34.0	
					0645	0627				
					0663	0560				
	平 均				0657	0549	0603			
	60Km/h				0528	0395				
					0522	0395				
					0479	0349				
	平 均				0503	0379	0445			

表 3-26

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 17号線上越5日町(図面No.12) 測定月日 S41.6.8 午後 晴

測定条件

試験車 大型道路試験車

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 修正トベカ S40年施工 アスファルト 8.0% 石 粉 13.0%	20km/h	0.829	0.890					24.5	40.0	
		0.860	0.857							
		0.798	0.857							
	平 均	0.829	0.868	0.849						
	40km/h	0.768	0.804							
		0.879	0.824							
		0.737	0.890							
	平 均	0.778	0.839	0.809						
	60km/h	0.860	0.791							
		0.663	0.725							
		0.860	0.857							
	平 均	0.794	0.791	0.793						
	20km/h				0.921	0.923		23.5	34.0	
					0.909	0.909				
					0.872	0.857				
	平 均				0.901	0.896	0.899			
	40km/h				0.632	0.659				
					0.583	0.659				
					0.583	0.593				
	平 均				0.599	0.637	0.618			
	60km/h				0.430	0.461				
					0.430	0.461				
					0.565	0.496				
	平 均				0.475	0.473	0.474			

表 3-27

路面のすべりまざつ係数測定値

道路研究室

測定場所 17号線上越大和町(図面4.13)

測定月日 S. 41. 5. 9 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 シートアスファルト S 39年施工	20km/h	0.908	0.937							
		0.890	0.902							
		0.860	0.833							
	平均	0.886	0.890	0.888						
	40km/h	0.921	0.833					21.7	24.5	開始時 22.5
		0.890	0.833							
		0.786	0.902							
	平均	0.866	0.856	0.861						
	60km/h	0.798	0.868							
		0.798	0.833							
		0.798	0.833							
	平均	0.798	0.845	0.821						
	20km/h				0.786	0.833				
					0.860	0.833				
					0.768	0.833				
	平均				0.805	0.833	0.819			
	40km/h				0.614	0.659		20.0	22.4	
					0.706	0.625				
					0.725	0.590				
	平均				0.682	0.625	0.653			
	60km/h				0.491	0.416				
					0.503	0.403				
					0.522	0.416				
	平均				0.505	0.412	0.459			

表 3-28

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 17号線上越十日町(図面No.14) 測定月日 S.41.6.9 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト舗装 修正トベカ アスファルト 80% 石 粉 13.0%	20km/h	0.921	0.937							
		0.921	0.937							
		0.798	0.868							
	平均	0.880	0.914	0.897						
	40km/h	0.909	0.819							
		0.860	0.833					20.5	25.0	
		0.768	0.868							
	平均	0.846	0.840	0.843						
	60km/h	0.890	0.833							
	/	0.798	0.798							
		0.706	0.833							
	平均	0.798	0.821	0.810						
	20km/h				0.829	0.694				
					0.860	0.763				
					0.810	0.833				
	平均				0.833	0.763	0.798			
	40km/h				0.663	0.625		19.8	23.0	
					0.626	0.590				
					0.626	0.625				
	平均				0.638	0.613	0.626			
	60km/h				0.491	0.437				
					0.503	0.416				
					0.491	0.416				
	平均				0.495	0.423	0.459			

表 3-29

路面のすべりまっさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 17号上越堀之内(すべり止工) 測定月日 S. 41. 6. 9 曇

測定条件

試験車 大型道路試験車

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
すべり止め舗装 エポキシ樹脂 シリカサンド 混合接着	30 km/h	0.860	0.902	0.881	0.768	0.833	0.805	21.7	23.0	

測定場所 土研、試験走路

測定月日 昭和41年11月4日 夜

測定条件

アスファルトのみのすべりまさつ係数

試験車 大型道路試験車

(B 8 リブタイヤ 640-16-4P)

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルトベースト アスファルト (針入度 80-100) と石粉を 1:1に混合 し舗設したもの	20			0.538			0.309			
	30			0.489			0.159			
	40			0.480			0.111	9.0	14.0	
	50			0.467			0.069	~	~	
	60			0.447			0.073	6.0	12.0	

表 3-31

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S. 41. 11. 4 夜

測 定 条 件

(B. S. リブタイヤ 6.40-16-4 Pr)
セメントペーストのすべりまさつ係数

試 験 車 大型道路試験車

主 要 結 果

道路舗走種別	走 行 速 度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
セメントペースト (セメントのみ 水混合舗設し たもの w/c =0.5	20			0.513			0.389	90 ~ 60	11.5	
	30			0.472			0.368			
	40			0.475			0.302			
	50			0.501			0.247			
	60			0.519			0.234			

表 3-32

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研試験走路

測定月日 S. 41. 11. 8

測 定 条 件

各種接着式すべり止め舗装の効果測定

試 験 車 大型道路試験車

主 要 結 果

道路舗装種別	走 行 速 度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
シリカサンド 1.25 粒度	20			0.659			0.642	19°C	乾燥 18.0 ~ 22.0	
	40			0.579			0.575			
	60			0.524			0.442			
シリカサンド 2.5 粒度	20			0.713			0.659			
	40			0.664			0.609			
	60			0.581			0.487			
エメリー 1.25 粒度	20			0.809			0.795			
	40			0.628			0.729			
	60			0.564			0.613			
エメリー 5.0 粒度	20			0.767			0.971			
	40			0.665			0.707			
	60			0.589			0.615			
マイシールモルタル 上にシリカサンド 0.5 粒度	20			0.840			0.665		湿潤 23.5	
	40			0.686			0.518			
	60			0.578			0.426			
マイシール モルタル	20			0.798			0.384			
	40			0.635			0.329			
	60			0.542			0.279			

表 3-3 3

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 6号線 金町バイパス 新葛飾橋

測定月日 S. 41. 12. 21

測 定 条 件

すべり止め舗装の効果測定

試 験 車 大型道路試験車

5.60-13-6P リブタイヤ

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥 (タテ)			湿潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
撒布式 (硬質砂岩 5-10 ^{mm}) タックコート st. as 80-100 0.8 ^{kg/m²} { フレコート碎石 5-10 ^{mm} 96% 石 粉 2% アスファルト 2% 14 ^{kg/m³} 0.01 ^{m/m³} }	20	0.844	0.831	0.838	0.645	0.646	0.646	乾燥 52 ~ 60℃ 湿潤 61~ 70℃	60℃	
	40	0.744	0.711	0.728	0.572	0.572	0.572			
	60	0.763	0.738	0.751	0.527	0.554	0.541			
撒布式 (軟質砂岩)	20	0.799	0.785	0.792	0.617	0.646	0.632			
	40	0.726	0.701	0.714	0.499	0.535	0.517			
	60	0.772	0.738	0.755	0.554	0.545	0.550			
粗粒度混合式 (硬砂岩)	20	0.799	0.766	0.783	0.654	0.701	0.678			
	40	0.753	0.720	0.737	0.481	0.526	0.504			
	60	0.772	0.738	0.755	0.499	0.545	0.522			
粗粒度混合式 (軟質砂岩)	20	0.781	0.748	0.765	0.681	0.701	0.691			
	40	0.699	0.692	0.696	0.617	0.618	0.618			
	60	0.699	0.692	0.696	0.645	0.628	0.637			

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
モルタル混合式(川砂) 5% 100% 2.5 90-100 0.6 60-90 0.15 5-2.5 0.074 3-8 st. As 80-100.8~9%	20	0.817	0.803	0.810	0.772	0.766	0.769			
	40	0.781	0.748	0.764	0.654	0.674	0.664			
	60	0.799	0.785	0.792	0.663	0.535	0.549			
モルタル混合式 (シリカサンド) 同 上	20	0.835	0.821	0.828	0.536	0.526	0.531			
	40	0.808	0.794	0.801	0.436	0.434	0.435			
	60	0.690	0.674	0.682	0.345	0.323	0.334			
ディックシー(川砂) 10% 100% 5 85-100 2.5 65-85 0.6 25-50 0.3 15-33 0.15 5-20 0.074 3-8 ディックインダー A800, 7~8%	20	0.826	0.812	0.819	0.781	0.757	0.769			
	40	0.817	0.785	0.801	0.572	0.600	0.586			
	60	0.781	0.757	0.769	0.481	0.517	0.494			
ディックシー(シリカサンド) 同 上	20	0.862	0.831	0.847	0.726	0.720	0.723			
	40	0.772	0.757	0.765	0.608	0.609	0.609			
	60	0.708	0.683	0.796	0.508	0.480	0.494			
一般アスコン舗装 (橋梁外)	20	0.853	0.831	0.842	0.635	0.637	0.636			
	40	0.799	0.766	0.783	0.463	0.425	0.444			
	60	0.763	0.738	0.751	0.399	0.397	0.398			

表 3-34

路面のすべりまさつ係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路、シリカサンド(マイシール)

測定月日 8 41 12. 26

測定条件

シリカサンド接着舗装の効果測定

試験車 大型道路試験車

(560-13-6P リブタイヤ)

主要結果

まさつ係数は大きい。

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
シリカサンド接着 (鋼板上に接着した) マイシール 1.4 kg/m ² 珪砂(1.2 m/m以下) 2 kg/m ²				0.765			0.757	4.0℃	6.8℃	
				0.668			0.722	~	~	
				0.690			0.724			
				0.689			0.612	7.0℃	8.2℃	

表3-35

路面のすべり摩擦係数

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 41. 12. 26

試験車 大型道路試験車

測定条件 すべり止め舗装()の効果測定

(560-13-6R、リブタイヤ)

主要結果 摩擦係数は大きい。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト	20			0.760			0.699			
コンクリート	40			0.717			0.701	40℃	68℃	
すべり止め舗装	60			0.739			0.629	~	~	
(いもの鉄板上に 舗設)	80			0.759			0.625	7.0℃	8.2℃	
No. 9	20						0.657	18℃ ~19℃	19℃	
	40						0.579			
	60						0.586			
	20						0.651			
	40						0.566			
	60						0.557			
	20						0.649			
	40						0.565			
	60						0.557			
	20						0.627			
	40						0.564			
	60						0.527			
	20						0.702			
	40						0.568			
	60						0.527			
	20						0.720			
	40						0.527			
	60						0.557			
	20						0.727			
	40						0.601			
	60						0.527			

道路舗装種別		走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
			左	右	平 均	左	右	平 地	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
	No. 1 2	20						0.712			
		40						0.593			
		60						0.527			

表 3 - 3 6

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究所

測定場所 246号線 長津田試験舗装

測定月日 S 41. 9. 21 晴

試 験 車 大型道路試験車

測定条件 各種すべり止め比較舗装の経年的

主 要 結 果 測定 (才1回舗装直後)

道路舗装種別		走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
			左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
ア ス フ ア ル ト コ ン ク リ ー ト 舗 装	No. 5	20						0.742	18		
		40						0.613	~19℃	19℃	
		60						0.557			
	No. 6	20						0.742			
		40						0.628	〃	〃	
		60						0.557			
	No. 7	20						0.763			
		40						0.632	〃	〃	
		60						0.557			
	No. 8	20						0.736			
		40						0.619	〃	〃	
		60						0.527			
	No. 3	20						0.730			
		40						0.645	〃	〃	
		60						0.557			
	No. 4	20						0.731			
		40						0.634	〃	〃	
		60						0.557			

道路舗装種別		走行 温度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
			左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
ア ス フ ァ ル ト コ ン ク リ ー ト 舗 装	No.1	20						0.680			
		40						0.575			
		60						0.557			
	No.2	20						0.674			
		40						0.607			
		60						0.586			
	No.9	20			0.707			0.642			
		40			0.668			0.566			
		60			0.682			0.532			
	No.10	20			0.699			0.669			
		40			0.688			0.578			
		60			0.687			0.495			
	No.13	20			0.698			0.657			
		40			0.665			0.565			
		60			0.666			0.511			
	No.14	20			0.700			0.641			
		40			0.679			0.565			
		60			0.694			0.528			
	No.15	20			0.721			0.641			
		40			0.717			0.553			
		60			0.653			0.418			
	No.16	20			0.752			0.677			
		40			0.740			0.564			
		60			0.697			0.445			
	No.11	20			0.747			0.660			
		40			0.735			0.542			
		60			0.698			0.414			
	No.12	20			0.750			0.675			
		40			0.708			0.544			
		60			0.723			0.413			
	一般舗装	20			0.801			0.650			
		40			0.728			0.526			
		60			0.652			0.422			

別表 - 97

246号線 長津田試験舗装配合表

路面番号	12	11	16	15	14	13	10	9	2	1	4	3	8	7	6	5	
粗骨材	硬 砂 岩								石 灰 岩								
細骨材	川 砂	スクリーニングス				川 砂											
粒 度	密 粒 度				開 粒 度								密 粒 度				
最大粒径	15 ㎜										5 ㎜			15 ㎜			
ファイラー%	規定量 8 %		規定量 8 %		規 定 量 5 %				規定量 7 %		5 %	7 %	規定量 5 %	14%	12%	8 %	規定量 6 %
アスファルト%	5.5 %	5.8 %	5.5 %	5.8 %	4.0 %	3.7 %	3.7 %	4.0 %	4.0 %	4.0 %	4.3 %	4.3 %	6.8 %	6.8 %	5.8 %	5.8 %	
東 京															<div><div>30m</div><div>60m</div></div>		沼 津
	480 m																

表3-37

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 246号線 長津田試験舗装

測定月日 S41. 11. 11~12 晴

試験車 大型道路試験車

測定条件 各種すべり止め比較舗装の経年的

測定

主 要 結 果

(才2回 測定)

道路舗装種別		走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度				
			左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度		
ア ス フ ァ ル ト コ ン ク リ ー ト 舗 装	No.5	20			0.714			0.597	乾燥 13.0 ～ 13.5℃	乾燥 14.0 ～ 15.0			
		40			0.683			0.513					
		60			0.785			0.442					
	No.6	20			0.725			0.566					
		40			0.698			0.485					
		60			0.709			0.416					
	No.7	20			0.755			0.626					
		40			0.737			0.539					
		60			0.723			0.459					
	No.8	20			0.787			0.640	湿潤 17.0 ～ 20.0	湿潤 18.0 ～ 21.0			
		40			0.727			0.504					
		60			0.747			0.406					
	No.3	20			0.741			0.618					
		40			0.701			0.516					
		60			0.658			0.414					
	No.4	20			0.742			0.631					
		40			0.678			0.523					
		60			0.731			0.435					
	No.1	20			0.690			0.598					
		40			0.663			0.499					
		60			0.642			0.380					
	No.2	20			0.686			0.595					
		40			0.664			0.504					
		60			0.651			0.406					

表 3 - 3 8

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 1号線 西湘道路

測定月日 S 41. 6. 27

試験車 大型道路試験車

測定条件 各種すべり止め舗装の比較

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
1号線	40			0.775			0.494		33.0℃	
大 磯	40									
オープングレード	70			0.835						
北 浜	40			0.695			0.741			
オープン	70			0.826						
西湘道路	40			0.685			0.782			
オープン	70			0.734						
西湘道路	40			0.798			0.732			
細 粒	70			0.992						

(4) 氷雪路面のすべり摩擦を主とした測定結果

表 4 - 1

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 国道7号線藤崎町

測定月日 S 35. 2

測定条件 氷雪上の測定 横すべりは10~

試験車 トレーラー型試験車

18° の最大値

タイヤ圧35ポンド

タイヤ種類、タイヤチェーンの影響

輪車480Kg

雪氷結は人工散水によって行った

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ	テ	ヨ	コ	外気温	路面温度	タイヤ温度
アスファルト 舗装上 リブタイヤ 普通路面	20	0.78	0.74					
	40	0.61	0.73					
	60	0.64	0.73					
リブタイヤ、氷結面 氷厚1 程度	20	0.10	0.11					
	40	0.07	0.12					
リブタイヤ、チェーン 付 氷結面、氷厚1 程度	20	0.13	0.21			-1.5		
	40	0.11	0.18			~ -4.7		
リブタイヤ新雪 5cm 上	20	0.26	0.32					
ラグタイヤ、普通 路面	20	-	0.77					
	40	-	0.79					
	60	-	0.76					
ラグタイヤ氷結面 氷厚1 程度	20	0.11	0.09					
	40	0.11	0.09					
ラグタイヤ、チェーン 付氷結面氷厚1 程度	20	0.13	0.15					
	40	0.12	0.12					
ラグタイヤ新雪 5cm 上	20	0.29	0.24					
スノータイヤ、 普通路面	20	0.83	0.71					
	40	-	0.69					
	60	-	0.70					
スノータイヤ、 氷結面 氷厚1 程度	20	0.09	0.13					
	40	0.09	0.13					

表 4-2

測定場所 山梨県山中湖畔

測定月日 S 36. 12

測定条件 氷雪上の測定

試験車 大型道路試験車

横すべり留はすべて 2.0° である

タイヤ圧 2.5 ポンド

輪重 400 kg

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		温 度		
		タテ	ヨコ	タテ	ヨコ	外気温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装	20	1.18	0.46	0.95	0.55	-11.0 ~ 12.0		
リブタイヤ、普通	40	1.16	0.47	0.90	0.53			
路面	60	1.20	0.52	0.82	0.45			
リブタイヤ、氷結	20	0.14						
面 氷厚 1.5 mm	30	0.14						
	40	0.14						
	60	0.14						
リブタイヤ、チエ	20	0.24						
ーン付	40	0.24						
氷結 1.5 mm 厚	60	0.23						
リブタイヤ、氷上	20	0.23						
に砂まき 70 kg/m ²	40	0.23						
	60	0.20						
リブタイヤチエ	20	0.37						
ーン付、氷上に砂ま	40	0.21						
き 70 g/m ²	60	0.19						
リブタイヤ、氷上	20	0.36						
に塩化ナトリウム	40	0.21						
まき 40 g/m ²	60	0.25						
リブタイヤ、チエ	20	0.51	0.15					
ーン付塩化ナトリ	40	0.25	0.13					
ウム 40 g/m ²	60	0.34	0.22					
リブタイヤ、氷上	20	0.32	0.36					
に塩化カルシウム	40	0.31	0.36					
40 g/m ² まき	60	0.28	0.40					
リブタイヤ、チエ	20	0.34						
ーン付塩化カルシウ	40	0.23						
ム 40 g/m ² まき	60	0.23						

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ テ	ヨ コ	タ テ	ヨ コ	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
スノータイヤ、普通路面	20	1.02	0.31	0.74	0.45			
	40	0.93	0.33	0.71	0.40			
	60	0.92	0.36	0.63	0.32			
スノータイヤ、氷結面氷厚1.5mm	20	0.16						
	30	0.15						
	40	0.15						
	60	0.15						
スノータイヤ、チエーン付氷結 1.5mm	20	0.15						
	40	0.16						
	60	0.16						
スノータイヤ、氷結面砂まき 70g/m ²	20	0.17						
	40	0.15						
	60	0.15						
スノータイヤ、チエーン付砂まき 70g/m ²	20	0.18						
	40	0.19						
	60	0.22						
スノータイヤ、氷結塩化ナトリウム 40g/m ²	20	0.33						
	40	0.28						
	60	0.19						
スノータイヤ、チエーン付塩化ナトリウム、40g/m ²	20	0.26						
	40	0.23						
	60	0.17						
スノータイヤ、氷結塩化カルシウム まき40g/m ²	20	0.14						
	40	0.14						
	60	0.16						
スノータイヤ、チエーン付 塩化カルシウムまき40g/m ²	20	0.22						
	40	0.27						
	60	0.34						

表4-3

測定場所 山梨県山中湖畔

測定月日 S 37. 12

測定条件 氷雪上の測定

試験車 大型道路試験車

タイヤ圧 25 ポンド

主要結果 氷の上の薬剤は100%当量散布
を必要とする。

輪重 400 Kg

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ	テ	タ	テ	外 気 温	路面湿度	タイヤ温度
コンクリート、リ ブタイヤ 普通路面	20			1.20	0.97			
氷結 2mm 厚	20	0.24	0.21			-7.5		
氷結上、砂散布 133g/m ²	20	0.31	0.33			-7.5		
同上、塩化ナトリ ウム 50g/m ²	20	0.17	0.18			-8.0		
同上、塩化ナトリ ウム 50g/m ²	20	0.20	0.30			-7.0		
同上、塩化ナトリ ウム 150g/m ²	20	0.20	0.45			-8.0		
同上、塩化ナトリ ウム 67g/m ²	20	0.15	0.19			-8.0		
同上、塩化ナトリ ウム 74g/m ²	20	0.15	0.27			-7.0		
同上、塩化ナトリ ウム 3:1 75g/m ²	20	0.22	0.44			-7.0		
同上 3:1 166g/m ²	20	0.44	0.60			-7.0		
同上 8砂+3塩 化ナトリウム+1塩 化カルシウム 156g/m ²	20	0.49	0.66			-7.5		
同上 4砂+3塩 化ナトリウム+1塩 化カルシウム 125g/m ²	20	0.21	0.36			-8.0		

表 4-4

測定場所 国道18号線長野県柏原地区

測定月日 S 39. 2. 1

測定条件 氷雪路面の測定

試験者 大型道路試験車

(圧雪路面)

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
圧雪路面 地方交通に供用中 で圧雪の厚い所	30 上り			0.20				-2.0 ~ -3.0		
	30 下り			0.29						

表 4-5

測定場所 名神高速道路関ヶ原

測定月日 S 39. 2. 6

測定条件 氷雪路面の測定(古いザラメ雪)

試験車 大型道路試験車

タイヤ圧26ポンド

タイヤ荷重290kg

主 要 結 果

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿潤(タテ)			温 度		
		左	右	平均	左	右	平均	外気温	路面温度	タイヤ温度
氷雪路面(アスファルト) 古い積雪5~10cm ついていて が圧雪はなく小粒状 で下部は氷盤に近い	20 左側			0.38				0 ~ -1.0		
	20 右側			0.41						
	40 中側			0.39						
	45 中側			0.47						
	50 左側			0.48						
	60 右側			0.38						
	60 中間			0.49						
同 上 古い積雪5~10cm がとけ始めた状態	20 左側			0.33				+3.0 ~ +4.0		
	20 右側			0.36						
	60 左側			0.39						
	60 右側			0.36						
	65 左側			0.75						
	65 右側			0.36						
	70 右側			0.39						

表4-6

測定場所 名神高速道路関ヶ原

測定月日 S 39. 2. 7

測定条件 冰雪路面の測定(新雪)

試験車 大型道路試験車

タイヤ圧 26 ポンド

タイヤ荷重 290 Kg

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
冰雪路面(アスファルト) 新雪 2~3cm 氷結なし 融雪寸前	20	上	り	0.37						
	40	上	り	0.36				+ 3.0		
	50	上	り	0.34				~		
	55	上	り	0.43				+ 4.0		
	60	上	り	0.58						
冰雪路面(アスファルト) 新雪 2~3cm 氷結なし 融雪開始したところ	60	下	り	0.56				+ 3.0 ~ + 4.0		

表4-7

測定場所 名神高速道路、関ヶ原

測定月日 S 39. 2. 12

試験車 大型道路試験車

測定条件 冰雪路面の測定(氷結路面)

タイヤ圧 26 ポンド

主要結果 路面にわずかでも水分があり氷結すると危険である。

タイヤ荷重 290 Kg

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
冰雪路面(アスファルト) 除雪後再積雪 4cm 路面氷結	10	上		0.15						
	10	下		0.19						
	20	上		0.23				- 1.0		
	20	下		0.24				~		
	30	上		0.22				- 2.0		
	30	下		0.28						
	40	上		0.22						
	40	下		0.29						
	50	上		0.24						

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
	5 0	下り		0.2 4						
同 上 除雪後積雪 5 ㎝ 路面氷結	1 5	上り		0.2 1				- 1. 0 ~ - 2. 0		
	1 5	下り		0.2 5						
	3 0	上り		0.2 4						
	3 0	下り		0.2 5						
	4 0	上り		0.2 5						
	4 0	下り		0.2 4						
	5 0	上り		0.2 2						
同 上 除雪したあとに薬 剤散布し、10分 後路面氷結、積雪 5 ㎝	1 5	下り		0.2 6				- 1. 0 ~ - 2. 0		
	3 0	下り		0.2 6						
	4 0	下り		0.3 0						
同 上 除雪後積雪 5 ㎝	1 0	上り		0.2 3				- 1. 0 ~ - 2. 0		
	2 0	上り		0.2 4						
	3 0	上り		0.2 6						
	4 0	上り		0.3 0						
	5 0	上り		0.3 2						

表 4 - 8

測定場所 国道 4 号線盛岡市

測定月日 S 40. 1. 29

試 験 車 ジープ、スノータイヤ

測定条件 氷雪路面上の測定

チェーンなし

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 50 g/m ² 路面圧雪 2~3cm	3 0			0.3 8				- 3. 5	- 2. 8	
				0.4 3				- 3. 5	- 1. 5	
				0.4 0				- 3. 3	- 3. 5	
塩化ナトリウム 粉碎塩散布 50 g/m ²	3 0			0.3 9				- 3. 5	- 3. 0	
				0.4 0				- 3. 3	- 2. 3	
				0.3 9				- 3. 3	- 4. 0	

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化マグネシウム 50%	30			0.37				-3.5	-1.0	
				0.43				-3.3	-3.0	
				0.39				-3.3	-2.2	
塩化カルシウム 75%	30			0.38				-3.5	-2.0	
				0.40				-3.3	-3.5	
				0.39				-3.3	-2.5	
薬剤散布なし	30			0.26				-4.0	-1.5	
				0.26				-3.0	-0.5	
				0.32				-3.5	-1.3	
				0.31				-3.3	-1.5	
				0.26				-3.3	-1.5	

表4-9

測定場所 国道4号線盛岡市

測定月日 S40. 1. 29

測定条件 氷雪路面上の測定

試験車 大型道路試験車

リブタイヤ

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 50g/m ² 路面圧雪 2~3cm	30			0.32				-4.0	-2.8	
				0.35				-3.0	-1.5	
				0.36				-3.5	-3.5	
				0.36				-3.3	-3.5	
				0.35				-3.3	-3.5	
塩化ナトリウム 粉碎塩 50g/m ²	30			0.30				-4.0	-3.0	
				0.35				-3.0	-2.3	
				0.34				-3.5	-4.0	
				0.34				-3.3	-4.0	
				0.35				-3.3	-4.0	
塩化マグネシウム 50%	30			0.30				-4.0	-1.0	
				0.34				-3.0	-3.0	
				0.35				-3.5	-2.2	
				0.33				-3.3	-2.2	
				0.35				-3.3	-2.2	

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化カルシウム 75% 50 g/m ²	30			0.28				-4.0	-2.0	
				0.35				-3.0	-3.5	
				0.35				-3.5	-2.5	
				0.34				-3.3	-2.5	
				0.35				-3.3	-2.5	
薬剤散布なし	30			0.25				-4.0	-1.5	
				0.26				-3.0	-0.5	
				0.29				-3.5	-1.3	
				0.28				-3.3	-1.5	
				0.30				-3.3	-1.5	

表4-10

測定場所 国道4号線 盛岡

測定月日 S40. 1. 29

測定条件 氷雪路面上の測定

試 験 車 大型道路試験車

スノータイヤ

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化カルシウム 上質塩散布 50 g/m ² 路面圧雪 2~3cm	30			0.49				-4.0	-2.8	
				0.46				-3.0	-1.5	
				0.52				-3.5	-3.5	
				0.52				-3.3	-3.5	
				0.51				-3.3	-3.5	
塩化カルシウム 粉碎塩 50 g/m ²	30			0.47				-4.0	-3.0	
				0.49				-3.0	-2.3	
				0.49				-3.5	-4.0	
				0.51				-3.3	-4.0	
				0.50				-3.3	-4.0	
塩化マグネシウム 50% 50 g/m ²	30			0.49				-4.0	-1.0	
				0.49				-3.0	-3.0	
				0.50				-3.5	-2.2	
				0.51				-3.3	-2.2	
				0.50				-3.3	-2.2	

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化カルシウム	30			0.49				-4.0	-2.0	
				0.51				-3.0	-3.5	
				0.54				-3.5	-2.5	
				0.50				-3.3	-2.5	
				0.51				-3.3	-2.5	
薬剤散布なし	30			0.42				-4.0	-1.5	
				0.45				-3.0	-0.5	
				0.43				-3.5	-1.3	
				0.44				-3.3	-1.5	
				0.45				-3.3	-1.5	

表4-11

測定場所 国道13号線 尾花沢

測定月日 84.2.2

測定条件 氷雪路面上の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果が
明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 50 g/m ² 圧雪 7~8 回	30	1回目		0.34				-3.5	-6.0	
		2回目		0.35				-2.5	-4.5	
		3回目		0.35				-2.0	-3.5	
		4回目		0.40				-3.5	-2.5	
		5回目		0.75				-3.0	+0.5	
塩化ナトリウム 粉碎塩散布 50 g/m ² 圧雪 7~8 回	30			0.36				-3.5	-7.0	
				0.32				-2.5	-4.0	
				0.33				-2.0	-2.0	
				0.37				-1.5	-1.0	
				0.75				-1.0	+1.5	
塩化マグネシウム										

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化カルシウム 75% 50g/m ² 圧雪7~8cm	30			0.36				-3.5	-4.0	
				0.35				-2.5	-3.5	
				0.31				-2.0	-1.5	
				0.38				-1.5	-0.5	
				0.76				-1.0	±0	
薬剤散布なし 圧雪7~8cm	30			0.25				-3.5	-4.0	
				0.20				-2.5	-2.0	
				0.23				-2.0	-1.5	
				0.35				-1.5	-1.0	
				0.18				-1.0	±0	

表4-12

測定場所 国道13号線 尾花沢

測定月日 S40. 2. 3

測定条件 氷雪路面上の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果が明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 50g/m ² 降雪24cm 圧雪2.5~3.0cm	30			0.30				-3.5	-7.0	
				0.40				-3.5	-9.0	
				0.24				-3.5	-14.0	
				0.38				-3.5	-7.0	
				0.42				-5.0	-4.0	
塩化ナトリウム 粉砕塩散布 50g/m ² 雪 同 上	30			0.40				-3.5	-6.0	
				0.41				-3.5	-7.0	
				0.24				-3.5	-6.0	
				0.42				-3.5	-6.0	
				0.40				-5.0	-4.0	
塩化マグネシウム				—						
塩化カルシウム75% 50g/m ² 雪 同 上	30			0.32				-3.5	-5.0	
				0.40				-3.5	-6.0	
				0.22				-3.5	-9.0	

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
				0.38 0.41				-3.5 -5.0	-6.0 -4.0	
薬剤散布なし 雪 同 上	30			0.18 0.24 0.21 0.20 0.22				-3.5 -3.5 -3.5 -3.5 -5.0	-0.5 -0.5 -0.5 -0.5 -0.5	

表4-13

測定場所 国道13号線 尾花沢

測定月日 S40. 2. 4

測定条件 氷雪路面上の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果
が明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 50g/m ² 降雪13cm 氷層1.0~1.5cm	30			0.42 0.45 0.43 0.40 0.42				-1.0 -1.0 -1.0 -2.5 -2.0	-5.0 -0.5 0 0 0	
塩化ナトリウム 粉碎塩散布 50g/m ²	30			0.40 0.40 0.40 0.41 0.38				-1.0 -1.0 -1.0 -2.5 -2.0	-8.5 -1.0 0 0 0	
塩化マグネシウム										
塩化カルシウム 75% 50g/m ²	30			0.41 0.41 0.43 0.40 0.40				-1.0 -1.0 -1.0 -2.5 -2.0	-6.0 -2.0 0 0 0	

道路舗装種別	走行 速度									
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
薬剤散布なし	3 0			0.2 3				- 1. 0	- 1. 0	
				0.2 3				- 1. 0	- 1. 0	
				0.2 2				- 1. 0	- 1. 0	
				0.2 1				- 2. 5	- 1. 0	
				0.1 6				- 2. 0	- 1. 0	

表 4 - 1 4

測定場所 国道 1 3 号線 尾花沢

測定月日 8 4 0. 2. 5

測定条件 氷雪路面上の測定

試 験 車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果が明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			湿 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 5 0 g / m ² 降雨 1 6 cm 氷層 1. 0 cm	3 0			0.4 2				1. 0	- 1. 0	
				0.3 6				1. 5	0	
				0.3 6				1. 5	0	
				0.3 6				0. 5	- 0. 6	
				0.3 9				1. 0	- 0. 5	
塩化ナトリウム 粉碎塩 5 0 g / m ²	3 0			0.4 4				1. 0	- 0. 5	
				0.4 2				1. 5	0	
				0.3 8				1. 5	0	
				0.3 8				0. 5	- 0. 2	
				0.3 6				1. 0	0	
塩化マグネシウム				-						
塩化カルシウム 7 5 % 5 0 g / m ²	3 0			0.4 2				1. 0	- 0. 5	
				0.4 3				1. 5	0	
				0.3 6				1. 5	0	
				0.3 8				0. 5	- 0. 4	
				0.3 8				1. 0	- 0. 1	
薬剤散布なし				-				1.5~0.5	0	

表 4-15

測定場所 国道10号線青森県大沢辺

測定月日 S40. 2. 26

測定条件 氷雪路面の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果が
明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩 50g/m ² 圧雪 5cm 氷盤 8cm	30			0.36				+2.0	-3.3	
				0.37				+1.5	-2.0	
				0.37				+2.0	-2.0	
				0.40				-0.5	-1.7	
				0.41				-1.0	-1.5	
塩化ナトリウム 粉碎塩 50g/m ²	30			0.36				+2.0	-3.7	
				0.37				+1.5	-2.9	
				0.39				+2.0	-3.5	
				0.41				-0.5	-3.0	
				0.42				-1.0	-2.0	
塩化マグネシウム 50% 50g/m ²	30			0.36				+2.0	-2.5	
				0.37				+1.5	-2.2	
				0.37				+2.0	-2.2	
				0.39				-0.5	-1.5	
				0.40				-1.0	-2.0	
塩化カルシウム 75% 50g/m ²	30			0.37				+2.0	-2.0	
				0.37				+1.5	-2.2	
				0.35				+2.0	-2.5	
				0.37				-0.5	-2.1	
				0.38				-0.1	-1.0	
薬剤散布なし	30			0.20				+0.7	-0.7	
				0.23				+1.5	-1.5	
				0.24				+1.0	-1.0	
				0.20				-1.3	-1.3	
				0.20				-2.5	-2.5	

表4-16

測定場所 国道101号線青森県大沢辺

測定月日 S40. 2. 27

測定条件 氷雪路面上の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果が
明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			湿 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩散布 50 g/m ² 圧雪 5cm 氷盤 8.5cm	30			0.38				+1.0	-0.7	
				0.40				-1.0	-0.5	
				0.36				+2.0	0	
				0.34				+1.5	+1.0	
				0.36				+2.0	+0.5	
塩化ナトリウム 粉碎塩 50 g/m ²	30			0.37				+1.0	-1.5	
				0.35				-1.0	0	
				0.35				+2.0	0	
				0.27				+1.5	+1.0	
				0.37				+2.0	0	
塩化マグネシウム 50 % 50 g/m ²	30			0.34				+1.0	-0.7	
				0.40				-1.0	0	
				0.41				+2.0	0	
				0.41				+1.5	+1.2	
				0.39				+2.0	+0.5	
塩化カルシウム 75 % 50 g/m ²	30			0.30				+1.0	-0.7	
				0.39				-1.0	0	
				0.41				+2.0	0	
				0.41				+1.5	+1.0	
				0.40				+2.0	+0.5	
薬剤散布なし	30			0.17				+1.0		
				0.20				-1.0		
				0.23				+2.0		
				0.22				+1.5		
				0.32				+2.0		
塩化ナトリウム 粉碎)と塩化カル シウム混合 1kg/m ²	30							+2.0	-6.0	
								+2.0	-8.0	
								+2.0	-11.0	
								+1.5	-3.0	
								+2.0	-1.0	

表4-17

測定場所 国道101号線青森県大釈迦

測定月日 S40. 2. 28

測定条件 冰雪路面上の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果 薬剤のすべり摩擦に対する効果が
明らかになった

道路舗装種別	走行 速度	乾燥(タテ)			湿 潤(タテ)			湿 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 湿	路面温度	タイヤ温度
塩化ナトリウム 上質塩 50g/m ² 圧雪5cm 氷盤8cm	30			0.43				+2.7	-1.0	
				0.38				+3.5	-4.5	
				0.45				+4.0	0	
				0.36				+4.0	+0.5	
				0.43				+2.5	+0.5	
塩化ナトリウム 粉碎塩 50g/m ²	30			0.39				+2.7	-1.3	
				0.39				+3.5	-4.0	
				0.30				+4.0	0	
				0.48				+4.0	+0.5	
				0.61				+2.5	+1.0	
塩化マグネシウム 50% 50g/m ²	30			0.44				+2.7	-2.2	
				0.38				+3.5	-4.0	
				0.37				+4.0	0	
				0.35				+4.0	+1.0	
				0.35				+2.5	+1.0	
塩化カルシウム 75% 50g/m ²	30			0.44				+2.7	-1.7	
				0.46				+3.5	-4.0	
				0.38				+4.0	0	
				0.36				+4.0	+2.2	
				0.41				+2.5	+1.0	
薬剤散布なし	30			0.32				+2.7	-0.1	
				0.36				+3.5	-1.5	
				0.36				+4.0	+1.0	
				0.37				+4.0	0	
				0.35				+2.5	+1.0	
塩化ナトリウム (粉碎)と塩化カ ルシウムの混合物 50g/m ²	30			0.35				+2.7	-0.5	
				0.31				+3.5	0	
				0.30				+4.0	+0.5	
				0.23				+4.0	+1.0	
				0.43				+2.5	+1.0	

表4-18

測定場所 国道18号線長野、新潟県境

測定月日 S 41. 2. 15

測定条件 氷雪上の測定

試験車 ジープ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
信野町～野尻間 白色圧雪上	3 0						0.35			
	ク						0.32			
	ク						0.38			
野尻～県境間 白色圧雪上	3 0						0.37			
	ク						0.39			
	ク						0.38			
県境～田口間 白色圧雪上	3 0						0.40			
	ク						0.40			
	ク						0.41			
	4 0						0.41			
	ク						0.37			
	ク						0.37			

表4-19

測定場所 国道4号線

測定月日 S 41. 2. 25

測定条件 氷雪路面上の測定

試験車 トヨタライトノシ、スノータイヤ

チェーンなし

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
浅虫の東 トベカ舗装 ぬれ雪 2～3cm	3 0						0.35	+ 2.0 ～ + 3.0		

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タ テ)			湿 潤 (タ テ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
ぬれ雪、みぞれ状	3 0						0.43	+ 2.0 ~ + 3.0		
同 上 雪なし、湿潤路 面	3 0						0.70	+ 2.0 ~ + 3.0		

(5) 特殊路面のすべり摩擦の測定結果

表 5 - 1

路面のすべり摩擦係数測定値

道 路 研 究 室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 38. 12.

測定条件 縞鋼板、平鋼板の測定

試 験 車 大型道路試験車

タイヤ圧 24 ポンド

主要結果 湿潤時には摩擦抵抗が小さくなる

輪重 520 Kg

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			赤土に水をかけた状態 (3~5mm)	
		左	右	平 均	左	右	平 均	平 均	
平 鋼 板	15			0.57			0.18	0.10	
	40			0.59			0.19	0.08	
	60			0.49			0.19	—	
縞 鋼 板 1.6mmの高さ 3.75mm × 3.5mm	15			0.80			0.24	0.17	
	40			0.61			0.19	0.15	
	60			0.51			0.21	—	
平 鋼 板	横すべり 10°								
	15			0.37			0.19	0.03	
	40			0.41			0.21	0.04	
	60			0.67			0.17	—	
縞 鋼 板	15			0.47			0.36	0.10	
	40			0.64			0.33	0.08	
	60			0.62			0.32	—	
平 鋼 板	横すべり 20°								
	15			0.49			0.15	0.04	
	40			0.31			0.34	0.00	
	60			0.43			0.08	—	
縞 鋼 板	15			0.62			0.29	0.10	
	40			0.42			0.25	0.04	
	60			0.66			0.22	—	

表 5-2

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路、穴あき鋼板（新） 測定月日 S 39. 10. 15~22

測定条件 仮設道路用の穴あき鋼板の効果を

試験車 大型道路試験車

知るために測定した。新しいもの。

主要結果 湿潤時には摩擦抵抗が小さくなる

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ	テ ヨ コ	タ	テ ヨ コ	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
穴あき鋼板 (穴 ϕ 16 ^{mm} 高さ 4 ^{mm})新しいもの 横10° 横20°	15	0.58	0.48 0.57	0.32	0.38 0.33			
	40	0.50		0.27				
横10° 横20°			0.46 0.59		0.33 0.26			
	60	0.49		0.27				
横10° 横20°			0.47 0.58		0.32 0.22			

表 5-3

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 39. 10. 15~22

測定条件 穴あき鋼板との比較のために測定

試験車 大型道路試験車

した

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ	テ ヨ コ	タ	テ ヨ コ	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 横10° 横20°	15	0.50	0.47 0.53	0.54	0.49 0.40			
	40	0.50		0.40				
横10° 横20°			0.44 0.51		0.48 0.40			
	60	0.41		0.32				
横10° 横20°			0.46 0.55		0.46 0.39			

表5-4

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路、穴あき鋼板
(古いもの)

測定月日 S 39. 10. 15~22

測定条件 穴あき鋼板の突出穴のエッチを
4.0mmのものにグラインダーを
かけ2.5~3.0mmになったもの
を測定した。

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ	テ	ヨ	コ	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
穴あき鋼板 (穴 ϕ 16mm高さ 2.5~3.0mm けずっ たもの) 横10° 横20°	15	0.55		0.29				
				0.40	0.35			
				0.45	0.33			
横10° 横20°	40	0.50		0.21				
				0.40	0.32			
				0.46	0.30			
横10° 横20°	60	0.48		0.20				
				0.40	0.30			
				0.44	0.29			

表5-5

測定場所 土研、試験走路

測定月日 S 39. 10. 15~22

測定条件 穴あき鋼板との比較のためにと
った

試験車 大型道路試験車

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥		湿 潤		湿 度		
		タ	テ	ヨ	コ	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
コンクリート舗装 (鋼板、湿潤) (グラインダーをかけ たものとの比較)	15	0.52		0.54				
	40	0.50		0.40				
	60			0.33				
同 上 (鋼板、乾燥) (グラインダーをかけ たものとの比較)	15	0.46						
	40	0.45						

表5-6

測定場所 国道17号線三国峠、浅貝地区

測定月日 S 39. 6. 19

測定条件 砂利道の測定を行った

試験車 大型道路試験車

山地部砂利道、浮砂利あり

主要結果

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			湿 度		
		左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
砂 利 道	1 0	0.44	0.41	0.43						
	3 0	0.44	0.41	0.43						

表5-7

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路(いもの鉄板)

測定月日 S 41. 12. 22

試験車 大型道路試験車

測定条件 いもの鉄板のすべり止め効果測定

(560-13-6p リブタイヤ)

主要結果 他の鋼板よりは摩擦係数が大きい。

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			湿 度		
		左	右	平 均	左	右	平 地	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
いもの鉄板 (久保田鉄工)	2 0			0.596			0.661			
	4 0			0.658			0.537	9.0℃ ~	14.0℃ ~	
	6 0			0.661			0.448	11.5℃	16.3℃	
	7 0			0.660			0.441			
		泥土を散布し、その上に散水したもの								
	2 0						0.581	9.0℃ ~ 10.0℃	7.5℃	
	4 0						0.553			
	6 0						0.385			
	7 0						0.396			

表 5 - 8

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路(凸型鋼板)

測定月日 84.12.22

測定条件 鋼板に突起をつけ、すべり止め用

試験車 大型道陌試験車

として製作したものの効果測定

(560-13-6p リブタイヤ)

主要結果 湿潤時の摩擦係数が小さい

道路舗装種別	走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
		左	右	平 均	左	右	平 地	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
凸型鋼板 (八幡製鉄)	2 0			0.601			0.397	9.0℃ ~ 11.5℃	14.0℃ ~ 16.3℃	
	4 0			0.642			0.314			
	6 0			0.694			0.269			
	7 0			0.695			0.260			
	泥土を散布し、その上に散水したもの。									
	2 0						0.383	9.0 ~ 10.0℃	7.5℃	
	4 0						0.342			
	6 0						0.257			
	7 0						0.237			

(6) ゴムの種類別のすべり摩擦を主とした測定結果

表6-1

路面のすべり摩擦係数測定値

道路研究室

測定場所 土研、試験走路

測定月日

試験車 大型道路試験車

測定条件 各社のタイヤの比較試験である

主要結果

道路舗装種別		走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			温 度		
			左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 温	路面温度	タイヤ温度
コン クリ ート 舗 装	ブリヂストン	20			0.797			0.743	乾 24.0	乾 31.4	
		40			0.748			0.580	湿 22.5	湿 31.5	
		60			0.759			0.517			
	ヨコハマ	20			0.710			0.655	乾 20.7	乾 28.5	
		40			0.701			0.556	湿 21.7	湿 27.6	
		60			0.698			0.489			
	グッドイヤー	20			0.718			0.661	乾 27.8	乾 34.2	
		40			0.707			0.580	湿 19.7	湿 23.1	
		60			0.704			0.469			
	オ ー ツ	20			0.732			0.684	乾 19.5	乾 26.8	
		40			0.692			0.582	湿 20.6	湿 22.8	
		60			0.734			0.516			
	ト ー ヨ ー	20			0.708			0.674	乾 19.5	乾 25.5	
		40			0.703			0.592	湿 19.4	湿 21.0	
		60			0.680			0.502			
	ダンロップ	20			0.740			0.669	乾 19.0	乾 26.4	
		40			0.728			0.592	湿 20.2	湿 21.9	
		60			0.704			0.521			
ア ス フ ァ ルト 舗 装	ブリヂストン	20			0.746			0.779	乾 24.0	乾 34.4	
		40			0.748			0.684	湿 22.5	湿 31.3	
		60			0.774			0.588			
	ヨコハマ	20			0.704			0.725	乾 20.6	乾 30.0	
		40			0.716			0.724	湿 21.5	湿 27.0	
		60			0.659			0.549			
	グッドイヤー	20			0.712			0.795	乾 27.1	乾 35.5	
		40			0.735			0.664	湿 19.1	湿 25.0	
		60			0.689			0.607			

道路舗装種別		走行 速度	乾 燥 (タテ)			湿 潤 (タテ)			湿 度		
			左	右	平 均	左	右	平 均	外 気 湿	路面温度	タイヤ温度
ア ス フ ォ ル ト 舗 装	オ ー ツ	2 0			0.7 1 4			0.7 9 0	乾 19.9	乾 28.3	
		4 0			0.7 0 3			0.6 8 9	湿 20.4	湿 22.9	
		6 0			0.7 3 3			0.5 8 1			
	ト ー ヨ ー	2 0			0.7 1 7			0.7 8 7	乾 19.0	乾 27.3	
		4 0			0.7 2 7			0.7 0 3	湿 19.0	湿 21.0	
		6 0			0.7 0 4			0.5 9 9			
	ダン ロ ッ プ	2 0			0.7 2 1			0.7 4 2	乾 19.3	乾 27.6	
		4 0			0.7 0 2			0.6 8 1	湿 20.8	湿 21.7	
		6 0			0.6 8 4			0.5 8 2			